



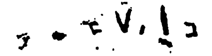
PHYSIQUE D'ÉMILE,

OU

Principes de la Science de la nature, présentés dans un ordre absolument nouveau, et démontrés par des expériences simples et une chaîne de raisonnemens faciles à suivre.

PAR EM. DEVELEY,

Professeur de Mathématiques dans l'Académie de Lausanne, Membre honoraire des Sociétés de Physique et de Minéralogie de Jena en Saxe, de la Société des Sciences et des Arts de Montauban, de celle d'Agriculture, Commerce et Arts du Département du Doubs, Secrétaire de la Société des Sciences physiques de Lausanne, et Correspondant du Gouvernement de France pour les Arts et Manufactures.





A PARIS.

1802.

À M.

VAN-MARUM,

Secrétaire perpétuel de la Société des Sciences de Harlem, Directeur du Cabinet d'Histoire naturelle de la même Société, Bibliothécaire et Directeur des Cabinets de Physique et d'Histoire naturelle du Museum Teylerien, Membre de la Société royale de Londres, et d'un grand nombre d'autres Académies et Sociétés savantes.

Les élèves auxquels ce livre est destiné sont supposés plus mûrs, plus avancés que ne l'était Émile; et cette Physique ne ressemble pas beaucoup à celle de Rousseau; mais j'ai fait ensorte de me rapprocher un peu de sa méthode, et d'en saisir l'esprit; voilà la raison du titre que j'ai donné à cet ouvrage.

Il m'avait paru que la marche ordinaire des Traités de physique était sujette au grand inconvénient de supposer aux élèves des connaissances qu'ils ne devaient réellement acquérir que dans la suite du cours; en cherchant à éviter ce défaut, et à développer d'abord les parties qui pouvaient le mieux se passer du secours des autres, j'ai été conduit à suivre un ordre absolument nouveau. Mais on voudra bien remarquer à cet égard que l'ordre le meilleur pour un premier cours, ne serait peut-être pas le meilleur dans le second degré de l'instruction, et lorsqu'on en viendrait à approfondir chaque partie de la science.

Du reste, comme je ne voulais point supposer à mes lecteurs la connaissance des mathématiques, et que je désirais aussi d'éviter la sécheresse des démonstrations purement expérimentales, j'ai cherché à prendre un milieu entre ces deux manières d'exposer les principes de la physique: en

partant toujours d'expériences simples et connues, j'en ai déduit les conséquences qui pouvaient en résulter, et cela par des raisonnemens enchaînés les uns aux autres et faciles à suivre. J'aurais désiré que ma Physique devînt une espèce de logique pratique ; et j'éprouverais bien de la satisfaction si l'on trouvait que j'eusse approché du but que je me suis proposé.

Si ce premier volume est goûté, il pourra être suivi d'un second.

Les neuf premières feuilles ayant été imprimées il y a plusieurs années, les citations de l'Arithmétique d'Émile qu'elles contiennent se rapportent à la première édition de cet ouvrage.

TABLE DES CHAPITRES.

Fin de la table des Chapitres.

Table alphabétique

De quelques matières que l'on pourrait avoir de la peine à trouver d'après la simple inspection des titres des Chapitres.

N. B. On trouvera facilement les autres matières dans les Chapitres auxquels elles se rapportent manifestement.

TABLE

De la partie astronomique en particulier.

PHYSIQUE D'ÉMILE.

INTRODUCTION.

§. 1. LES premiers hommes ont été les premiers observateurs. Conduits par la nature, et sans dessein prémédité, ils auront bientôt pu s'étudier eux-mêmes, et les objets environnans ; ils auront pu remarquer les différentes parties de leur corps ; apprendre à reconnaître certains animaux, certains végétaux, certains minéraux ; et se faire même, avec le secours de la parole, des idées générales d'*animal*, de *végétal*, de *minéral*.

§. 2. Bientôt ils auront commencé d'être *astronomes ;* c'est-à-dire, qu'ils auront fait attention au lever, au coucher du soleil, et à ce qui en résultait immédiatement, le jour et la nuit.

Ils auront admiré, sans doute, comme chacun de nous a pu le faire, le brillant des étoiles et les différentes *phases* de la lune.

§. 3. La comparaison de l'eau avec la terre et les autres corps solides aura pu leur donner des idées de *fluidité* et de *consistance*.

§. 4. D'ailleurs, il ne leur aura pas écha|
que tous les corps qu'ils pouvaient sai
solides ou liquides, étaient *pesants;* c'es
dire, qu'ils avaient une tendance vers la te
et qu'ils s'y portaient lorsqu'ils n'étaient
soutenus.

§. 5. Ils auront bientôt connu la *pluie*
grêle, la *neige* et les autres *météores.*

Le bruit du *tonnerre*, l'éclat de la *foudre*,
aura surtout frappés.

§. 6. Quelque forêt, embrasée, peut-ê
à la suite d'un orage, leur aura fait conna
le *feu;* et cet être incompréhensible, prin
de vie et de destruction, les effrayant d'ab
par ses ravages, les aura bientôt attirés pa
douce chaleur ; ils l'auront craint comme p
sant; ils l'auront aimé comme bienfaisant.

§. 7. On ne saurait déterminer quel fut |
cisément le moyen qu'ils employèrent p
reproduire le feu; mais on peut en imagi
plusieurs; entr'autres celui des habitans d
mer du Sud, qui frottent l'un contre l'a
deux morceaux de bois mort.

§. 8. Il est à croire qu'ils observèrent m
facilement que tout le reste *l'air*, ce fl
subtil, au milieu duquel nous vivons; il
se doutèrent pas si vîte, sans doute, de
existence. Cependant les arbres déracinés

de grands vents, ou d'autres effets semblables, purent leur apprendre que l'air était quelque chose, et qu'il avait, pour ainsi dire, un corps, malgré son invisibilité.

§. 9. Il n'est personne de nous qui ne soit aussi avancé à tous égards que les premiers observateurs. Or, les connaissances qu'ils possédaient, et que nous venons de passer en revue, sont précisément celles que je suppose à mes élèves.

§. 10. Maintenant nous voulons faire ensorte d'étendre ces connaissances; nous voulons tâcher d'en acquérir de nouvelles; et pour cela nous devons étudier les corps avec une attention que nous ne leur avons pas encore donnée.

§. 11. C'est un fait bien connu, et un principe avoué, que les corps peuvent être en repos ou en mouvement. Nous allons donc les considérer successivement dans ces deux états.

DU REPOS DES CORPS

En général, et de quelques particularités sur les solides et les liquides en repos.

§. 12. NOUS avons déja dit (§. 4.) qu'un corps en repos tombe au moment même qu'on cesse de le soutenir.

Parvenu à terre, il fait effort pour descendre plus bas encore, et PRESSE l'obstacle qui l'arrête.

§. 13. Il suit de là, 1°. que la pesanteur peut être envisagée comme une force sans cesse agissante, qui poursuit tous les corps, et tend à les faire passer du repos au mouvement.

2°. Qu'on peut regarder l'obstacle qui arrête un corps, et qui l'empêche d'obéir à la pesanteur, comme une force égale et opposée.

§. 14. Il est bien clair qu'un corps doit rester en repos toutes les fois qu'il est ainsi sollicité par deux forces égales et parfaitement opposées. C'est ce qu'on appelle ÉQUILIBRE.

§. 15. Au reste, c'est dans la balance, si connue de tout le monde, qu'il faut chercher l'origine du mot équilibre.

Si l'on suspend aux deux bras de cette machine deux poids égaux, l'un ne peut descendre

sans élever l'autre, et comme le premier tire autant à droite que le second tire à gauche, ils demeurent l'un et l'autre en repos.

L'équilibre résulte donc alors de l'égalité de poids, et c'est ce que le mot même indique; ÆQUE en latin signifie *également*, et LIBRARE signifie *peser*.

§. 16. Puis donc qu'il y a *équilibre* et *pression* par tout où il y a repos, (§. 12. 13. 14.), nous traiterons, en parlant des corps en repos, de leur pression et de leur équilibre, science qu'on nomme STATIQUE, en latin STATICA, en grec *statikè*.

§. 17. Ce n'est pas tout : une expérience continuelle nous apprend que les corps sont *divisibles*. Ils sont donc composés de parties.

Ces parties sont toujours plus ou moins fortement unies entr'elles, et du degré de cette *adhérence* dépend le plus ou le moins de solidité des corps.

Quoique l'adhérence des parties ne soit pas considérable dans les liquides, elle n'est cependant pas nulle; il suffit pour s'en convaincre de voir couler de l'eau, et surtout de l'huile.

§. 18. Quand on tient à la main un corps solide, les parties qui ne sont pas soutenues ne tombent cependant pas, parce qu'elles adhérent trop fortement à celles qui le sont.

Si on le place sur un support plus petit que lui, et qu'il y ait plus de matière d'un côté que de l'autre, il tombe tout entier de ce côté-là.

Mais s'il y a le même nombre de parties des deux côtés, le corps ne tombe point; c'est le cas de la balance; il y a équilibre.

Bien plus, on pourrait, avec un peu d'adresse, mettre ainsi un corps en équilibre sur la pointe d'un couteau, ou sur quelque chose de semblable.

Ce point unique, où se concentre, pour ainsi dire, l'effort des solides, et le seul qui ait besoin d'être soutenu, se nomme le CENTRE DE GRAVITÉ; c'est comme si l'on disait : le centre de pesanteur.

§. 19. Il n'en est pas de même des liquides; ils n'ont point de centre de gravité; à cause du peu d'adhérence de leurs parties, dont le seul poids suffit pour les entraîner, et les séparer les unes des autres.

§. 20. C'est pourquoi, 1°. les liquides se répandent, en obéissant à la pesanteur, s'ils ne sont pas renfermés dans des vases qui puissent les contenir.

§. 21. C'est pourquoi, 2°. quand ils sont dans des vases qui les empêchent de se répandre, ils pressent non-seulement le fond, mais

encore les parois contre lesquelles ils s'appuyent; comme on le voit en perçant le vase par le côté.

§. 22. C'est pourquoi, 3°. toutes leurs parties, qui d'ailleurs glissent très-facilement les unes sur les autres, s'arrangent, en conséquence de leur pesanteur, de manière à se trouver aussi près que possible de la terre, et vraiment en équilibre entr'elles; ce qui fait que leur surface supérieure est toujours plus ou moins plane, et comme on dit de NIVEAU.

Du repos des solides.

§. 23. Nous n'avons, pour le moment, rien à ajouter de particulier sur la pression et l'équilibre des solides; ils n'offrent rien de plus à l'observation; à moins qu'on ne les fasse agir les uns sur les autres au moyen des machines, dont la connaissance suppose celle des lois du mouvement.

Du repos des liquides.

§. 24. Un liquide pressant le fond et les parois du vase dans lequel il est, (§. 21.), doit presser aussi par dessus et par les côtés, un corps solide plongé dans son sein; car, le dessus du solide est *fond* pour la colonne de liquide qu'il supporte, et ses côtés sont *parois* pour d'autres portions de ce même liquide.

§. 25. Il semble d'abord qu'on peut moins aisément juger de ce qui se passe au-dessous du corps plongé; cependant la chose devient assez simple si l'on fait attention à ceci: c'est qu'un morceau de bois remonte du fond de l'eau à sa surface.

Or, il tend à descendre pour deux raisons; 1°. parce qu'il a lui-même du poids; et 2°. à cause de la pression que le liquide exerce par dessus. (§. 24.)

Il faut donc nécessairement qu'il soit aussi pressé, et *plus fortement pressé par dessous.*

§. 26. La même chose a lieu, sans doute, pour un corps très-pesant; et si tout son poids n'est soutenu par l'excès de la pression inférieure sur la pression supérieure, il doit au moins l'être en partie; c'est ce que l'expérience confirme.

§. 35. On ne peut pas supposer non plus qu'il tombe au fond, comme un corps pesant, ni qu'il se porte vers les parois du vase; car la même chose devant arriver alors aux autres parties du liquide, elles se rapprocheraient sans cesse les unes des autres, et nous verrions les liquides changer constamment de nature.

§ 36. Le décimètre cube d'eau reste donc à sa place, et nous devons en conclure :

1°. Qu'il y a égalité entre la force qui tend à le faire descendre et celle qui tend à le faire monter; c'est-à-dire, entre

La pression supérieure plus le poids du décimètre cube, d'un côté, .	et	*La pression inférieure*, de l'autre.

2°. Qu'il y a égalité, je ne dis pas entre toutes les autres pressions qui ont lieu sur le décimètre cube; mais entre les autres pressions opposées.

§. 37. Du reste, ce n'est pas seulement un décimètre cube d'eau qui demeure en repos, en équilibre, dans une masse du même liquide; la même chose a lieu pour une portion quelconque de ce liquide. D'où il suit que le poids de cette portion, quelle qu'elle soit, est toujours soutenu par l'excès de la pression inférieure sur la pression supérieure.

§. 38. Cela posé, revenons à notre décimètre cube d'eau. Si nous mettons à sa place un décimètre cube d'une matière ni plus ni moins pesante que l'eau, la pression inférieure, par son excès, soutiendra ce décimètre comme l'autre, et l'on aura toujours repos, équilibre.

§. 39. Mais si le décimètre cube est d'une matière plus pesante que l'eau, la pression inférieure ne pouvant soutenir de son poids qu'une partie égale au poids du décimètre cube d'eau, le corps plongé tombera au fond.

§. 40. Cependant, je le répète, il ne tombera pas avec tout son poids : la pression inférieure, par son excès sur la pression supérieure, soutiendra de ce poids une partie égale au poids du décimètre cube d'eau.

Et de là nous pourrons conclure, en généralisant, (§. 37, 38, 39.), qu'*un corps plongé dans un liquide perd de son poids, ou paraît du moins perdre de son poids, une partie égale au poids du volume de liquide qu'il déplace.* Résultat qui est confirmé par l'expérience, et que nous obtiendrons d'ailleurs en suivant une autre route, à la vérité plus longue, mais aussi plus lumineuse, dans laquelle il s'agit d'entrer à présent.

§. 41. Soit A B C D, fig. 1, une masse d'eau

divisée en plusieurs portions par les lignes imaginaires EF, GH, IK, LM.

La partie OPRS, ou X, reste en repos, en équilibre, (§. 33. 37.), et par conséquent

La pression supérieure plus le poids de la partie X	ÉGALE	*La pression inférieure.* (§. 36. 37.)

Ou, ce qui revient au même,

La pression inférieure	ÉGALE	*La pression supérieure plus le poids de X.*

§. 42. Or, la pression supérieure, qui a lieu sur la partie X, ou qui a lieu sur OP, est égale au poids de la colonne d'eau IOPL.

Car, si on voulait supposer que cette pression fut plus considérable ou moins considérable que le poids de IOPL, il faudrait aussi que EO supportat une pression plus forte ou moins forte que le poids de la colonne BEOI; et PF une pression plus forte ou moins forte que le poids de la colonne LPFC.

Dans ce cas, EO plus OP plus PF, c'est-à-dire EF, supporterait une pression plus forte ou moins forte que le poids des trois colonnes réunies, ou de toute la partie BEFC, ce qui est absurde.

§. 43. Donc,

La pression supérieure	ÉGALE	*Le poids de la colonne* IOPL;

comme nous l'avons déja dit. (§. 42.).

§. 44. Donc, (§. 41.),

La pression inférieure	ÉGALE	*Le poids de IOPL, plus le poids de X.*

Ou, ce qui est la même chose,

La pression inférieure	ÉGALE	*Le poids de toute la colonne ISRL.* (1).

§. 45. Donc,

L'excès de la pression inférieure ISRL, sur la supérieure IOPL,	ÉGALE	*Le poids de la partie X,*

et peut par conséquent soutenir ce poids. (§. 37.)

§. 46.

(1) Que l'on prenne donc garde de ne pas estimer l
pression inférieure par la colonne inférieure SKMR; car d
tte manière on aurait une pression moindre près du fon
vers la surface; ce qui est contraire à l'expérience
28.)
ne faut pas oublier que la pression inférieure contre S
I, est égale au poids de la colonne ISRL, (§. 44
. que, par conséquent, la pression inférieure contre F
g. 4, est égale au poids d'une colonne de liquide cor
LFGH, etc.

§. 46. Donc, si X n'est pas de l'eau, mais une matière ni plus ni moins pesante que l'eau, tout son poids sera soutenu par l'excès de la pression inférieure. (§. 45 et 38.).

§. 47. Donc, si X n'est pas de l'eau, mais une matière plus pesante que l'eau, la pression inférieure, par son excès, soutiendra du poids de X une partie égale au poids du même volume d'eau. (§. 45 et 39.).

§. 48. Et comme nous aurions pu raisonner de la même manière (§. 41 et suivans) en supposant tel ou tel autre liquide, et en donnant à la partie X telle ou telle autre figure (1), il en résulte, en général, qu'*un corps plongé dans un liquide perd de son poids, ou paraît du moins perdre de son poids, une partie égale au poids du volume de liquide qu'il déplace*; (§. 47 et 40.); ce qui renferme un cas qu'il faut encore analyser.

---

(1) On voit bien, 1°. que la pression supérieure sur X, fig. 2, est égale au poids de la colonne EFGHK, tandis que la pression inférieure est égale au poids de la colonne EFLHK.

2°. Que la pression supérieure sur X, fig. 3, est égale au poids de la colonne EFGHIK, tandis que la pression inférieure est égale au poids de la colonne EFLMIK... etc. ... etc.

§. 49. Nous avons vu (§. 45.) que si X, fig. 1, est de l'eau,

L'excès de la pression inférieure ISRL sur la pression supérieure IOPL, } ÉGALE { *Le poids de la partie* X,

et peut, par conséquent, soutenir ce poids.

§. 50. Donc, si X n'est pas de l'eau, mais une matière moins pesante que l'eau, l'excès de la pression inférieure sur la pression supérieure sera plus grand que le poids du corps X; et ce corps étant ainsi plus fortement poussé vers la surface que vers le fond, il s'élèvera.

§. 51. Cela posé, soit une masse d'eau ABCD, fig. 4, la partie X, prise à la surface, reste comme ailleurs en repos, en équilibre, et, par conséquent, il y a égalité entre la force qui tend à la faire descendre et celle qui tend à la faire monter; c'est-à-dire, entre

Le poids de la partie X, d'un côté . . } et { *La pression in rieure*, de l'autre.

Je dis seulement *le poids de la partie* X; c à la surface d'un liquide, il ne saurait y a de pression supérieure de la part de ce liqu

§. 52. Donc, si X n'est pas de l'eau, une matière moins pesante que l'eau, la p sion inférieure, égale au poids d'une co d'eau, comme EFGH, ou comme

(§. 44, note.), aura l'avantage sur le poids du corps X, plus léger que de l'eau, et soulèvera ce corps.

§. 53. Mais la pression inférieure perdant de sa force à mesure que le corps X sort de l'eau, (§. 30.), elle se trouvera bientôt égale au poids du corps plongé, qui demeurera pour lors en repos, en partie dans le liquide, en partie hors du liquide.

Ainsi, dans la fig. 5, la pression inférieure contre le corps X, est égale au poids de ce corps, sans quoi le repos n'aurait pas lieu.

§. 54. Or, comme nous savons d'ailleurs, (§. 51.) que la pression inférieure contre ce corps X, est égale au poids de la colonne d'eau dont ABCD occupe la place, il en résulte, (§. 48.), qu'*un corps plongé dans un liquide plus pesant que lui s'y enfonce seulement jusques à ce qu'il ait déplacé un volume de liquide de poids égal à son propre poids.*

§. 55. Jusqu'à présent nous avons toujours supposé des vases réguliers, et d'un diamètre égal dans toute leur étendue. Si nous imaginons maintenant qu'une masse de liquide soit contenue dans un vase irrégulier EFGHIK, fig. 6, il nous paraîtra d'abord que la pression supérieure en A, contre la partie X, doit être plus forte que la pression supérieure en B;

et cela parce que la gauche A, de la partie X, semble supporter une colonne de liquide plus grande que celle qui repose sur la droite B, qui est, pour ainsi dire, cachée et à l'abri sous le coude formé en H I, par le vase irrégulier.

Mais quand la pression supérieure est plus grande, toutes les autres pressions sont aussi plus grandes, (§. 30.), et, par conséquent, si la pression supérieure en A était plus grande que la pression supérieure en B, la pression latérale en D serait aussi plus grande que la pression latérale en C, et la partie X se porterait vers quelque point de la ligne I K; ce qui n'arrive pas. (§. 35.)

Donc, la pression supérieure en A n'est pas plus forte que la pression supérieure en B.

§. 56. Or, comme on pourrait raisonner de la même manière, en supposant au vase irrégulier, telle ou telle autre figure, il en résulte que, dans un même liquide, la pression supérieure est la même dans une même couche, quelle que soit la forme du vase dans lequel le liquide est contenu.

§. 57. Donc, le fond EK du vase irrégulie EFGHIK est également pressé dans tous se points par le liquide contenu dans ce vase.

§. 58. Mais la pression sur E L est égale au poids de la colonne E F G L. (§. 42.).

Donc, la pression sur LK est égale au poids d'une colonne qui remplirait l'espace LGMK. (§. 57.).

§. 59. Donc, la pression sur le fond du vase irrégulier EFGHIK est aussi grande que si le vase était régulier, et représenté par EFMK.

§. 60. Donc, si les deux vases des figures 5 et 6 ont la même hauteur, et des bases égales, il y aura sur le fond de l'un de ces vases la même pression que sur le fond de l'autre; quand ils seront tous les deux pleins d'un même liquide.

§. 61. Donc, en général, (§. 56.), la pression sur le fond d'un vase irrégulier est égale à la pression sur le fond d'un vase régulier qui aurait la même hauteur avec une base égale.

C'est ce que l'on exprime en disant que *les liquides pressent en raison composée de leur hauteur et de leur base;* quelle que soit leur quantité, et la figure du vase dans lequel ils sont contenus.

§. 62. Nous observerons ici que quand on parle d'un liquide il ne faut pas confondre sa pression avec son poids. La pression provient du poids; mais du poids combiné avec la figure du vase. Quand le vase est régulier, la pression est égale au poids. Mais quand le vase

est irrégulier, la pression est plus ou moins forte que le poids.

Si les deux vases des figures 5 et 6 étaient chacun d'une seule pièce, et qu'on les suspendit aux deux bras d'une balance, on ne pourrait mesurer ainsi la pression de l'eau que contiennent ces vases ; on ne mesurerait que son poids ; et le vase de la figure 5 ferait trébucher la balance.

Mais si les fonds de ces deux vases étaient seuls mobiles, et pouvaient librement glisser dans les vases même, que je suppose fixes, alors, en essayant de soulever ces fonds, on éprouverait une résistance égale dans les deux vases, parce qu'on ne mesurerait plus, de cette manière, le simple poids de l'eau, mais sa pression.

§. 63. La pression supérieure étant la mên dans une même couche, (§. 56.), il en résul que la pression latérale, qui dépend de la p sion supérieure, (§. 30.), est aussi la m dans une même couche.

[illegible] Et la pression supérieure ét[illegible] dans les différentes couches, (§[illegible] [illegible]ulte que la pression latérale est [illegible] [illegible]ente dans les différentes couches. ([illegible]

[illegible] 65. Par conséquent, si le fond d[illegible] [illegible] également pressé dans tous ses point

qu'ils répondent tous à une même couche, (§. 57.), les parois en échange ne sont pas également pressées dans tous leurs points, parce qu'ils ne répondent pas tous à une même couche.

§. 66. Cependant, si l'on plonge perpendiculairement dans une masse de liquide A B C D, fig. 7, une plaque mince O P, la somme des pressions latérales et partielles à droite, en *g i m*, sera égale à la somme des pressions latérales et partielles à gauche, en *e h l*; car le point *e* et le point correspondant *g* étant dans une même couche, leur pression latérale contre la plaque est la même; (§. 63.): et l'on en peut dire autant des points *h* et *i*, des points *l* et *m*, etc.

Donc, quoique les pressions latérales ne soient pas les mêmes aux points *g*, *i*, *m*, (§. 64.), la somme de ces pressions est égale à la somme des pressions aux points *e*, *h*, *l*; ou, en d'autres termes, toute la pression latérale à droite st égale à toute la pression latérale à gauche.

§. 67. Cela posé, supposons deux vases inéux A et B, fig. 8, qui communiquent ennble par l'ouverture C.

Si l'on verse un liquide en A, il passera en tie en B, par l'ouverture C; et si l'on verse échange un liquide en B, il passera en ie en A, par la même ouverture.

Quand les deux vases contiendront ainsi une certaine quantité de liquide, la colonne A exercera sur la colonne B une pression latérale en C; et la colonne B exercera sur la colonne A une pression latérale au même endroit C.

L'ouverture C sera donc la base latérale par laquelle les deux colonnes agiront l'une contre l'autre. On pourra donc comparer cette ouverture C à la plaque mince OP de la fig. 7, et, par conséquent, quelle que soit la quantité du liquide B, l'équilibre ne pourra avoir lieu que quand la hauteur sera la même dans les deux vases; car, sans cette condition, les deux vases ne seraient plus comme n'en formant qu'un seul, et l'on n'aurait plus dans les mêmes couches, ni la même pression supérieure, ni la même pression latérale.

C'est ainsi qu'un liquide garde le niveau dans les deux branches inégales du vase représenté par la figure 9e.

§. 68. On peut encore envisager sous un poin de vue un peu différent, l'action que les deu colonnes A et B exercent l'une contre l'autr dans les vases de la figure 8.

Puisque la colonne A tend à soulever, descendant, la colonne B, et que la colonne tend à soulever, en descendant, la colonne A on peut dire que la colonne A agit en-desso

de la colonne B, et que la colonne B agit en-dessous de la colonne A.

Ces deux colonnes exercent donc, l'une contre l'autre, une prèssion inférieure.

§. 69. Pour estimer cette pression, il faut faire, en quelque sorte, abstraction du liquide inférieur à la ligne CDE, fig. 10, et ne le considérer que comme un intermède d'action entre les colonnes A et B.

§. 70. Alors, si nous voulons calculer la pression de la colonne A au dessous de la colonne B, nous considérerons cette colonne A comme agissant immédiatement au dessous de la colonne B, et faisant effort pour la soulever.

§. 71. De même, si nous voulons calculer la pression de la colonne B au dessous de la colonne A, nous considérerons cette colonne B comme agissant immédiatement au dessous de la colonne A, et faisant effort pour la soulever.

§. 72. Dans l'un et l'autre cas, nous prendrons, à volonté, pour le contact des deux colonnes, ou la ligne CD, base de la colonne A, ou la ligne DE, base de la colonne B.

§. 73. Calculant donc la pression de la colonne A au-dessous de la colonne B, en prenant DE pour contact et pour base, nous verrons que cette pression est égale au poids

de la colonne B, qui a la même ligne DE pour base, et une hauteur égale à celle de A. (§. 61.)

§. 74. Calculant ensuite la pression de la colonne B, au dessous de la colonne A, en prenant CD pour contact et pour base, nous verrons que cette pression est égale au poids de la colonne A, qui a la même ligne CD pour base, et une hauteur égale à celle de B. (§. 61.)

§. 75. Au lieu des deux vases A et B des figures 8 et 10, si nous avions trois vases A, B, C, figure 11, communiquant entr'eux par les ouvertures D, E, le résultat serait le même.

Calculant, par exemple, la pression des colonnes A et C, agissant ensemble au dessous de la colonne B, par la base DE, nous verrons que cette pression est égale au poids de la colonne B, qui a la même ligne D E pour base, et une hauteur égale à la hauteur commune des colonnes A et C. (§. 61.)

§. 76. Il en serait encore de même si, au lieu de deux, trois, quatre vases réunis, etc., nous n'en considérions qu'un seul, et que nous imaginassions le liquide qu'il contient divisé en deux, trois, quatre colonnes perpendiculaires, etc.

§. 77. Au moyen de ces principes, on peut expliquer, mieux que nous l'avons fait, (§. 31.), pourquoi la pression inférieure contre un corps plongé X, fig. 1, est plus grande que la supérieure, (§. 25, 26, 28); et pourquoi cette pression inférieure est égale, dans ce cas, au poids d'une colonne de liquide comme ISRL, fig. 1. (§. 44.)

§. 78. Car la pression inférieure contre un corps plongé M, fig. 12, est le résultat de l'action que les colonnes H, L, etc., exercent au dessous du corps M, par l'entremise du liquide N. (§. 63 à 77.)

Or, la hauteur commune des colonnes H, L, etc, est marquée par la ligne *ab*, et la base par laquelle elles agissent au dessous du corps plongé M est marquée par la ligne *bc*.

Donc, la pression qu'elles exercent est égale au poids d'une colonne de liquide comme *abcd*. (§. 61.)

§. 79. Nous avons eu occasion de parler de corps *plus pesants que l'eau*, (§. 39. 47.), et de corps *plus légers que l'eau*, (§. 50. 52. 54.), et nous n'avons pas craint de nous servir de ces expressions; car, on est entendu de tout le monde quand on dit que *le plomb est plus pesant que le liège*, ou que *le liège est*

plus léger que le plomb, etc; on n'a pas besoin d'ajouter que c'est à volume égal.

§. 80. Les physiciens rendent raison de cette inégalité de poids des corps, en supposant que les plus petites parties de la matière sont semblables, et que, sous une même étendue, sous un même volume, les corps ne contiennent pas tous le même nombre de ces parties; les plus légers sont ceux qui en contiennent le moins, et qui ont, par conséquent, le plus d'espaces vides, ou de PORES, et réciproquement.

§. 81. L'or, le plus pesant des corps connus, n'est cependant pas sans pores; car, on a vu de l'eau, exactement renfermée dans une boule d'or, et qui en sortait sous l'apparence d'une fine rosée, quand on comprimait la boule.

D'où il résulte que la POROSITÉ est une pro- générale des corps connus.

82. Le plomb étant plus pesant que le et ayant plus de parties matérielles sous ême volume, ses parties sont donc plus ochées que celles du liège; ou, comme en physique, elles sont plus DENSES; parties du liège sont plus écartées, ou RES.

prime encore cette propriété en disant

que le plomb lui-même est un corps plus dense, a plus de DENSITÉ que le liège.

§. 83. Ainsi donc, LA DENSITÉ *c'est le rapport du volume à la quantité de matière*, ou à la MASSE.

§. 84. Quand un corps a plus de densité qu'un autre, il a aussi plus de poids sous un même volume; du moins on le conçoit ainsi.

Si, par exemple, il a le double de densité, il a sensiblement le double de poids; s'il a le triple de densité, il a sensiblement le triple de poids; et ainsi de suite.

§. 85. Ce rapport du poids d'un corps à celui d'un autre corps de même volume, auquel on le compare, pouvant servir à le caractériser, à le distinguer, étant, pour ainsi dire, propre à son espèce, on l'a nommé *pesanteur spécifique.*

§. 86. Ainsi donc, LA PESANTEUR SPÉCIFIQUE, *c'est le rapport qu'il y a entre le poids d'un corps et celui d'un autre corps sous le même volume.*

Et c'est par cette pesanteur spécifique que l'on juge de la densité. (1).

§. 87. Quand on dit qu'un corps pèse un

---

(1) La pesanteur spécifique des corps variant avec leur température, nous ne nous occuperons de cet objet qu'après avoir traité du feu.

gramme, deux grammes, un kilogramme, deux kilogrammes, etc., c'est toujours un rapport de poids que l'on exprime par là; mais comme, dans ce cas, il ne s'agit point du volume, et que l'on considére le gramme, ou le kilogramme, etc., comme une unité de poids donnée par la nature, on a dit que ces expressions: un gramme, deux grammes, un kilogramme, deux kilogrammes, etc., indiquaient le *poids absolu* des corps.

§. 88. Ainsi donc, LE POIDS ABSOLU, *c'est le rapport du poids d'un corps à celui d'un autre corps choisi pour unité, et sans égard au volume.*

§. 89. Cela posé, si l'on suspend aux deux bras d'une balance deux corps solides de même volume, et de densités différentes, celui dont la pesanteur spécifique sera la plus grande, fera trébucher la balance, en soulevant son antagoniste.

§. 90. De même, si l'on verse sur un liquide
s léger un volume égal d'un liquide plus
ant, ce dernier gagnera le fond, tandis que
e viendra au dessus.

1. Si l'on suspend aux deux bras d'une
e deux solides de densités différentes,
que le volume du plus léger soit beaucoup
considérable, ce dernier pourra enlever
i qui a le plus de pesanteur spécifique.

§. 92. En échange, si l'on ne verse qu'une seule goutte d'un liquide plus pesant, comme du mercure, sur une masse considérable de liquide plus léger, comme de l'eau, ce sera le liquide dont la pesanteur spécifique est la plus grande qui gagnera le fond.

§. 93. C'est que la goutte de mercure n'a pas besoin, pour descendre, de soulever toute la masse d'eau; elle n'en déplace qu'un volume égal au sien; tandis que notre solide spécifiquement plus pesant, suspendu à l'un des bras de la balance ne peut descendre sans soulever la masse entière du solide *spécifiquement plus léger*, mais *absolument plus pesant*, suspendu à l'autre bras.

§. 94. Cette propriété des liquides plus pesants de gagner le fond des vases, donne lieu à quelques jolies expériences, comme celle de la séparation de l'eau et du vin.

§. 95. Nous avons vu que si deux colonnes d'un liquide *homogène*, c'est-à-dire, d'un liquide de même nature, en un mot, d'un même liquide, agissent l'une contre l'autre dans des vases qui communiquent entr'eux, elles se mettent au même niveau. (§. 67.) Mais si on leur substitue deux liqueurs *hétérogènes*, c'est-à-dire, de nature différente, de densités différentes, une plus petite colonne du liquide le

plus pesant tiendra en équilibre une plus grande colonne du liquide le plus léger.

§. 96. S'il y a, par exemple, un centimètre de mercure au dessus du niveau, dans une des branches du *siphon* fig. 13; ce centimètre de mercure tiendra en équilibre quatorze centimètres d'eau dans l'autre branche, parce que le mercure est quatorze fois plus pesant que l'eau.

§. 97. La hauteur du liquide sera donc d'autant plus grande que ce liquide aura moins de pesanteur spécifique. Voici comment on exprime ceci d'une manière générale; on dit que *deux liqueurs hétérogènes, qui agissent l'une contre l'autre au moyen d'un tube communiquant, sont en équilibre entr'elles quand leurs hauteurs perpendiculaires sont en raison inverse de leurs densités.*

Du

Du repos de l'air

et des fluides qui lui ressemblent. (1)

§. 98. Comme notre plan demande qu'en parlant des corps en repos nous traitions de leur pression et de leur équilibre, (§. 16), nous allons raconter comment on a découvert la pesanteur de l'air ; et pour cela nous dirons d'abord un mot des pompes, dont la théorie se trouve intimément liée à l'objet dont il s'agit ici.

§. 99. La plus simple de ces machines est la seringue ordinaire, composée d'un cilindre creux, plus ou moins gros et plus ou moins long, dans lequel se meut, à frottement juste, un cilindre plein plus court que l'autre ; c'est ce que l'on appelle un *corps de pompe* et un *piston*. Le corps de pompe se rétrécit à l'un de ses bouts pour former le *bec* de la seringue.

§. 100. Cette machine fut sans doute imaginée par le besoin d'injecter des liquides ; et

(1) Si nous découvrons par la suite des fluides qui soient semblables à l'air, qui aient son apparence, et en quelque sorte sa forme, nous pourrons les nommer *fluides aériformes* ; et en donner alors une définition plus exacte que celle-ci.

il est clair que pour la remplir on ne connut d'abord d'autre moyen que celui de sortir tout-à-fait le piston.

§. 101. Mais le hasard put bientôt faire voir que si le piston joignait bien et que le bec de la seringue se trouvât plongé dans l'eau quand on retirait le piston, celle-ci montait alors dans le corps de pompe; effet que l'on crut expliquer en supposant que la nature avait *horreur du vide.*

§. 102. Voici, selon toute apparence, comment on se représenta la chose.

Si le piston joint très-mal, on a beau le faire mouvoir, l'eau ne monte point, parce que l'air se glisse entre le corps de pompe et le piston, et qu'il n'y a pas alors de vide à craindre.

Si, au contraire, le piston joint très-bien, et qu'au moment où on le fait mouvoir, le bec de la seringue se trouve plongé dans l'éau, l'air ne pouvant entrer dans le corps de pompe par le bec de la seringue, qui est dans l'eau, et ne pouvant se glisser entre le corps de pompe et le piston, qui s'appliquent exactement l'un à l'autre, il se ferait du vide dans le corps de pompe si l'eau n'allait pas le remplir; mais elle le remplit sur le champ, parce que la nature, disait-on, a *le vide en horreur.*

§. 103. Du reste, on chercha à tirer parti de la découverte qu'on venait de faire ; on comprit que si une seringue ordinaire pouvait élever une petite quantité d'eau au-dessus de son niveau, une longue seringue en élèverait une plus grande quantité, et que cette machine, avec quelques modifications, pourrait être employée à sortir de l'eau d'un puits, et à tel ou tel usage analogue à celui-là.

C'est alors qu'on inventa la *Pompe aspirante*, ainsi nommée parce qu'on peut comparer son effet à l'action d'un animal qui boit en suçant ou en aspirant.

§. 104. Cette machine diffère de la simple seringue, 1°. en ce que son piston, au lieu d'être plein, est percé dans son milieu, comme on le voit en P, fig. 14 ; cette ouverture étant fermée en dessus par une *soupape*, c'est-à-dire par une espèce de petite porte *s*, qui, dans ce cas, s'ouvre de bas en haut quand on la soulève, et se referme ensuite par son propre poids ; 2°. en ce que la partie inférieure du corps de pompe est garnie d'une soupape semblable à celle du piston, et qui joue de la même manière.

§. 105. Cela compris, on voit que si l'on plonge la pompe dans l'eau, jusqu'à une certaine profondeur, le liquide, par sa pression

inférieure, soulèvera un instant la soupape d'en bas; et montera dans le corps de pompe au même niveau N où il est en dehors.

En même tems l'air qui était dans le corps de pompe sortira en partie par la soupape du piston, en la soulevant un peu comme l'eau a soulevé celle du corps de pompe.

Si on fait alors monter d'un demi-mètre le piston, l'eau s'élèvera, dans le corps de pompe, d'un demi-mètre au-dessus du niveau extérieur, et remplira ainsi le vide qui se serait fait sans cela dans le corps de pompe; car l'air qui était sorti ne pourra rentrer, la soupape ne s'ouvrant point de haut en bas.

Cet effet, quelle qu'en soit la cause, n'est pas différent de celui qui a lieu dans la seringue commune; mais il est clair qu'ici l'eau entrée dans la pompe ne pourra pas en ressortir par le bas, lors même que le piston redescendra, parce qu'en pressant sur la soupape inférieure elle la fermera toujours plus exactement.

Un second, un troisième coup de pistc amèneront de nouvelles quantités d'eau, ce liquide atteignant bientôt le piston, celu ci ne pourra plus descendre sans comprim l'eau, qui, soulevant la soupape *s*, passera dessus du piston.

Ainsi donc, les choses en étant là, cha

fois que le piston descendra il passera de l'eau au-dessus de lui, et chaque fois qu'il remontera cette eau sera soulevée et se versera en T, en même tems qu'il en arrivera de la nouvelle par le bas.

§. 106. Les anciens, comme nous l'avons dit, expliquant cette ascension de l'eau dans les pompes aspirantes par l'horreur du vide, croyaient sans doute que l'eau pourrait ainsi monter à une hauteur qui ne serait limitée que par la longueur de la machine, et que le piston pourrait être placé aussi loin du niveau de l'eau qu'on le voudrait. Ils se trompaient, et une espèce de hasard vint leur montrer leur erreur.

„ Des fontainiers Italiens s'étant avisés de
„ vouloir faire des pompes aspirantes dont les
„ tuyaux avaient plus de trente-deux pieds de
„ hauteur (1), remarquèrent avec surprise
„ que l'eau refusait de s'élever au-dessus de
„ cette limite. Ils demandèrent à *Galilée* l'ex-
„ plication de ce fait singulier, et l'on prétend
„ que ce philosophe, pris au dépourvu, ré-
„ pondit que la nature n'avait horreur du vide
„ que jusqu'à trente-deux pieds.

„ *Toricelli*, disciple de Galilée, ayant mé-

(1) Environ 104 décimètres.

„ dité sur le phénomène (1), conjectura que „ l'eau s'élevait dans les pompes par la pres- „ sion de l'air extérieur, et que cette pression „ n'avait que le degré de force nécessaire pour „ contrebalancer le poids d'une colonne d'eau „ de trente-deux pieds (2) ". Ceci demande une explication. Pour la rendre plus facile à saisir, le lecteur est prié de revoir les §. 68.

---

(1) Il y a des faits qui ont pour cause immédiate la volonté d'un être intelligent, tel est le mouvement de votre bras. Il y en a d'autres qui sont l'effet immédiat des lois auxquelles les corps sont assujettis, et qui arrivent de la même manière toutes les fois que les circonstances sont les mêmes. C'est ainsi qu'un corps suspendu tombe si vous coupez la corde qui le soutient. Tous les faits de cette espèce se nomment phénomènes; et les lois dont ils dépendent, se nomment lois naturelles. L'objet de la physique est de connaître ces phénomènes et ces lois.

Pour y parvenir, il faut donner une attention particulière à chaque chose, et comparer avec soin les faits et les circonstances : c'est ce qu'on entend par *observer*, & les phénomènes découverts s'appellent observations.

Mais pour découvrir des phénomènes, il ne suffit pas toujours d'observer; il faut encore employer des moyens propres à les rapprocher, à les dégager de tout ce qui les cache, à les mettre à portée de notre vue. C'est ce qu'on nomme des expériences. Il a fallu, par exemple, faire des expériences pour observer la pesanteur de l'air. Telle est la différence que vous devez mettre entre phénomène, observation et expérience : mots qui sont assez souvent confondus.

(CONDILLAC.)

(2) Haüy, Ecoles normales.

69.... 78, et de jeter ensuite les yeux sur la figure 15.

§. 107. Dans cette figure, ABCD répré-sente une masse d'eau, dans laquelle plonge un corps de pompe P, ouvert par les deux bouts, et pour le moment sans piston. Les espaces P, V, X, suivant l'expression commune, sont *vides ;* c'est-à-dire qu'ils ne contiennent que de l'air.

Supposons maintenant que l'air ait un certain poids, et qu'il exerce sa pression à la manière des liquides, nous verrons que les colonnes d'air V, P, X, tendent réciproquement à déprimer par leur poids le niveau de l'eau qu'elles touchent, et à l'élever par conséquent sous les autres colonnes.

Mais le niveau de l'eau ne peut s'élever sous une des colonnes d'air que cette colonne d'air ne s'élève elle-même. On peut donc considérer les colonnes d'air V, P, X, comme agissant les unes contre les autres de bas en haut, par l'intermède du liquide ABCD, et tendant réciproquement à se soulever. (§. 68 à 71.)

Cela posé, les colonnes V et X, par exemple, agissent contre la colonne P, par la base *dg*, et la colonne P réagit contre les colonnes V et X, par la même base *dg*. Donc il y a équilibre; car la base est la même, et la hau-

teur, qui est celle de l'atmosphère (1), est aussi la même. (§. 73 à 76.)

Supposons maintenant qu'il y ait un piston dans le corps de pompe P, et que ce piston touche la surface de l'eau, ou la ligne *dg*, il est clair que, dans cette disposition, la colonne d'air ne reposera plus immédiatement sur l'eau, mais qu'elle s'appuyera sur le piston.

Si l'on élève alors le piston dans le corps de pompe, on soulèvera la colonne d'air P, qui cessera ainsi d'exercer sa pression sur la surface *dg*.

Dans cet instant, les colonnes d'air V et X déprimeront le niveau de l'eau qu'elles touchent, et forceront le liquide de suivre le piston à mesure que celui-ci s'élèvera.

Si le corps de pompe est plus long que la fig. 15 ne le représente, et que le piston continue à s'élever, l'eau, que nous supposons en quantité suffisante, continuera de suivre le piston, aussi long-tems du moins que la co- [illegible] eau qui s'élève ne fera pas équilibre [illegible] des colonnes d'air extérieur V

(1) On [illegible] la masse d'air qui environne le globe ter[illegible] en grec signifie *vapeur* et SPHÈRA signifi[illegible]

Cependant ce moment d'équilibre arrivera, et cela quand le poids de la colonne d'eau, élevée au-dessus du niveau, égalera la pression de l'air extérieur, ou le poids d'une colonne d'air ayant pour hauteur celle de l'atmosphère, et pour base la ligne *dg*. (§. 68 à 78 et 95 à 97.)

Or l'expérience prouve que l'eau, dans les pompes aspirantes, ne s'élève pas au-dessus de 104 décimètres (1). Donc, dans notre supposition actuelle, une colonne d'air de toute la hauteur de l'atmosphère n'aurait pas plus de poids qu'une colonne d'eau de même base, et de 104 décimètres de hauteur.

Voilà quelle fut l'idée de Toricelli (§. 106). Voulant expliquer l'ascension limitée de l'eau dans les pompes, il supposa que l'air était pesant, et qu'en conséquence de sa pesanteur et de sa fluidité, sa pression était soumise aux mêmes lois que celle des liquides.

§. 108. Pour vérifier sa conjecture, il imagina de faire une espèce de pompe avec du mercure au lieu d'eau, prévoyant bien qu'une cause méchanique qui soutenait 104 décimètres d'eau ne soutiendrait qu'environ 74 centimètres (2) de mercure, ce liquide étant quatorze fois plus pesant que l'eau.

(1) Environ 32 pieds. (2) Environ 27 pouces et demi.

air ; celui-ci n'ayant pu rentrer d'aucun côté. Et c'est même à ce vide d'air au-dessus de la colonne CL qu'est due l'élévation de cette colonne.

Je le répéterai encore, l'air presse sur la surface du mercure ; dans la cuvette, et tout autour du tube ; et ne presse point sur la colonne de mercure en L ; dès-lors nous avons deux fluides hétérogènes qui agissent l'un contre l'autre et se font équilibre (§. 95 à 97) ; c'est-à-dire une colonne de mercure de 74 centimètres de hauteur, et qui a pour base l'ouverture du tube, et une colonne d'air de même base et de toute la hauteur de l'atmosphère (§. 107.)

§. 110. J'insiste sur ces principes parce que j'en sens l'importance, parce que je sais qu'étant bien saisis ils rendront la suite facile à concevoir.

Du reste, on doit voir maintenant que la connaissance des lois de l'équilibre des liquides était absolument nécessaire pour l'intelligence parfaite des phénomènes qui viennent de se présenter à notre examen.

Voilà la règle à laquelle je me suis astreint dans ce cours : j'ai voulu faire précéder sans cesse les matières qui pouvaient le mieux servir à jeter du jour sur les objets subséquens. Plus

nous avancerons, mieux on verra si j'ai rempli mon but.

§. 111. L'expérience de Toricelli fit du bruit, et fut répétée par tous les physiciens. Quelques observateurs portèrent même son appareil sur des montagnes, et virent avec un grand plaisir le mercure descendre dans le tube à mesure qu'on s'élevait sur la montagne, et remonter graduellement quand on redescendait; ce qui confirmait tout-à-fait l'explication de Toricelli, puisque sur un lieu élevé, la colonne d'air, étant plus courte, était moins pesante, et ne pouvait contrebalancer qu'une plus petite colonne de mercure ; et réciproquement.

§. 112. Une expérience fort simple vient encore à l'appui de cette théorie.

Au lieu d'un tube fermé d'un côté, on prend un tube ouvert par les deux bouts ; on ajuste à une de ses extrémités, comme en V, (fig. 16), un morceau de bonne vessie mouillée, qu'on serre sur le tube au moyen de plusieurs tours d'un fil un peu fort; on laisse ensuite sécher la vessie. Cela fait, on remplit ce tube de mercure, à la manière de Toricelli, et on le met en expérience.

L'air ne pouvant point passer au travers de la vessie, si elle a été bien ajustée, le mercure se soutient ici à la hauteur accoutumée. Seu-

lement la pression de l'air sur la vessie, en V, l'enfonce un peu dans le tube, et lui fait prendre en dessus un peu de concavité.

Les choses étant ainsi disposées, on pique la vessie avec une épingle, qu'on retire au même instant. L'air rentre par cette ouverture, et l'on voit la colonne de mercure L C se précipiter dans la cuvette.

§. 113. Du reste, on comprend bien que le tube de Toricelli peut être plus ou moins large sans que la hauteur du mercure change; c'est-à-dire que si l'on met en expérience, dans un même lieu et dans un même moment plusieurs tubes de Toricelli de différens diamètres, le mercure se soutiendra dans tous à la même hauteur. Car s'il y a plus de mercure dans le tube le plus large, et que la colonne ait ainsi plus de poids, l'air agissant au-dessous de cette colonne par une base plus grande (1) exercera en échange une pression plus considérable, et tout sera balancé. (§. 68 à 78 et §. 61.)

§. 114. La largeur et la profondeur de la cuvette n'influent point non plus sur la hau-

---

(1) Je suppose que le tube a le même diamètre à son ouverture qu'ailleurs. Si cela n'était pas, les phénomènes n'en seraient pas moins les mêmes, d'après les principes que nous avons posés sur la pression des liquides. (§. 59 à 62.)

teur du mercure dans le tube ; car la pression de l'air n'est pas proportionnelle à la surface de mercure sur laquelle il s'appuie, ni à la quantité de ce fluide métallique, mais à la base par laquelle il est censé agir au-dessous de la colonne suspendue ; c'est-à-dire à l'ouverture du tube. (§. 68 à 78.)

§. 115. On observera ici, que le mercure de notre appareil se soutient à la même hauteur dans une chambre fermée qu'en dehors de la fenètre de cette chambre.

On pourrait expliquer ce fait par les principes que nous avons posés sur la pression des liquides dans des vases irréguliers ; (§. 59 à 61); car une chambre ne ferme jamais de manière à ce qu'il n'y ait aucune communication de l'air extérieur avec l'air intérieur ; dès lors on peut la considérer comme formant une espèce de coude dans le grand vase destiné à contenir l'air de l'atmosphère. (Voyez fig. 6 et les §. indiqués.)

§. 116. Cependant, il est de fait que si la chambre pouvait fermer très-exactement, et de manière qu'il n'y eut aucune communication de l'air extérieur avec l'air intérieur, il est de fait, dis-je, que le mercure de notre tube se soutiendrait encore à la même hauteur dans cette chambre; car si l'on fait passer un

tube de Toricelli par le col C d'un récipient de verre, (fig. 17), posé sur une plaque de métal P L, et qu'on garnisse de cire molle le bord inférieur du récipient, et les ouvertures qui peuvent rester au col C, le mercure se soutient encore alors à la même hauteur dans le tube, malgré qu'il n'y ait aucune communication de l'air extérieur au récipient à l'air intérieur, et que le mercure de la cuvette ne soit pressé que par ce dernier.

§. 117. Pour comprendre que ce phénomène n'a rien que de très-naturel, il faut examiner comment se comportent différens corps lorsqu'ils sont soumis à l'action d'une force extérieure qui tend à les *comprimer*, c'est-à-dire à les réduire à un volume moindre que leur volume accoutumé.

§. 118. En supposant un corps qui résistât tout-à-fait à la compression, ou qui fût tel qu'aucune force extérieure ne pût diminuer son volume, ce corps serait dit *incompressible* et *dur*.

§. 119. Si, au contraire, il cédait à la compression, et qu'il ne reprît pas du tout son volume quand cette compression viendrait à cesser, on le nommerait *compressible* et *mou*.

§. 120. Enfin, s'il cédait à la compression; et qu'il reprît ensuite son premier volume, on le nommerait *compressible* et *élastique*.

velle, et que cet air reprend sa place quand cette seconde pression vient à cesser. Nous en conclurons donc que l'air est non-seulement compressible, mais encore élastique.

§. 126. Le tube de Toricelli nous a déjà conduits à deux découvertes, celle de la pesanteur de l'air, et celle de son élasticité. Mais ce n'est pas là tout ce qu'il offre d'intéressant. Otto de Guericke ayant laissé ce tube en expérience dans son cabinet, s'apperçut bientôt que le mercure montait un peu dans le tube quand le tems devenait beau, et qu'il y descendait en échange un peu quand le tems devenait mauvais. C'est là l'origine du *baromètre*, instrument connu de tout le monde, et dont le nom indique tant bien que mal la propriété: BAROS en grec signifie *pesant*, et MÈTRON signifie *mesure*. Le baromètre est donc l'instrument qui sert à *mesurer* la *pesanteur* de l'air. Il a un usage double; fixé dans un cabinet, il sert à prévoir les changemens de tems; et, transporté sur les montagnes, il sert à mesurer les hauteurs. (§. 111). Voyez les *Recherches sur les modifications de l'atmosphère par Deluc.*

§. 127. Ayant appris que le poids d'une colonne d'air de toute la hauteur de l'atmosphère équivalait, dans les lieux bas, au poids d'une colonne d'eau de même base et de 104 déci-

mètres de longueur, (§. 106), ou ce qui revient au même, à celui d'une colonne de mercure de même base et de 74 centimètres de longueur (§. 107), on put calculer quelle était communément la pression de l'air sur une base donnée, comme sur un récipient, ou sur la surface du corps humain, etc.

§. 128. Supposons par exemple que l'on construisît avec des carreaux de vitre une boîte cubique de verre, dont le côté fût long d'un double décimètre, la pression qu'elle supporterait par dessus, de la part de l'atmosphère, serait égale au poids d'une colonne d'eau ayant la même base que la boîte et 104 décimètres de longueur, ou au poids d'une colonne de mercure de même base et de 74 centimètres de longueur; ce qui est très-considérable.

§. 129. Quelques commençans pourront croire que l'expérience ne viendrait point ici à l'appui de la théorie, et que si l'on voulait charger en effet la boîte de verre d'une des colonnes d'eau ou de mercure indiquées, elle serait brisée en éclats; mais, c'est qu'ils supposent, sans s'en rendre raison, qu'on chargerait la boîte du mercure ou de l'eau, sans la soulager du poids de l'atmosphère; ce qui lui ferait alors supporter une pression double de celle dont il s'agit.

§. 130. D'ailleurs il faut faire attention que cette boîte est pleine d'air, d'un air déjà comprimé par tout le poids de l'atmosphère, (§. 122, 123) et qui fait un effort continuel pour reprendre son premier état ; ensorte que le fond supérieur de la boîte est pressé des deux côtés opposés, en dessus et en dessous, par deux forces qui se font équilibre (§. 123) et qui se détruisent ainsi l'une l'autre (§. 14.)

§. 131. C'est par cette raison que la boîte n'est point brisée, et qu'en la faisant mouvoir on ne sent que son poids, et non celui de l'air qui la presse également dans tous les sens opposés.

C'est encore par cette raison que nous-mêmes nous pouvons nous mouvoir librement dans le fluide qui nous environne, et qu'il ne nous écrase point ; car nous avons de l'air à l'intérieur, comme à l'extérieur ; toutes les cavités de nos corps en sont remplies ; et on le trouve jusques dans nos plus petits vaisseaux. Sans cela comment supporterions-nous la pression énorme de l'air extérieur, qu'on a calculée être à peu près de 1467 myriagrammes (environ 30000 livres) sur toute la surface du corps d'un homme de moyenne taille ?

§. 132. Pour s'assurer de plus en plus que l'air était la cause de la suspension du mercure

au-dessus du niveau dans le baromètre, on dut désirer de pouvoir répéter cette expérience dans un espace vide d'air, et l'on eut l'idée de le pomper. Otto de Guericke, Boyle, et d'autres physiciens s'en occupèrent, et bientôt ils enrichirent la physique de la *Pompe pneumatique*, ou de la Pompe à air. Je ne donnerai qu'une légère idée de cette machine. On la trouvera décrite dans tous les livres de Physique.

§. 133. Qu'on se représente une espèce de seringue ou de pompe C, fig. 18, garnie d'un piston P, qui joigne assez bien pour ne point livrer passage à l'air; et que le bec de cette espèce de seringue, traversant une plaque de métal PL, vienne s'ouvrir sous un récipient V, dont les bords s'appliquent si exactement sur la plaque que l'air ne puisse passer de l'extérieur à l'intérieur de ce récipient; on aura une idée de la pompe pneumatique.

§. 134. Les choses étant ainsi disposées, si l'on fait descendre le piston P, on ouvrira un nouvel espace au-devant de l'air contenu dans le récipient V; et cet air, qui tend à occuper plus de place, (§. 122, 123) viendra remplir le vide du corps de pompe.

§. 135. Il faut observer que cet air ne se comportera pas dans ce moment comme le

ferait de l'eau, et qu'il ne laissera pas un espace vide au-dessus du récipient; car dans le moment où on le pompe, il est dans un état de compression (§. 122, 123), et il fait effort pour s'étendre dans tous les sens et occuper toute la place qu'il peut occuper. Il s'étendra donc, se dilatera, diminuera de densité, mais, tout en remplissant le corps de pompe, il continuera de remplir aussi le récipient.

§. 136. On a remarqué que l'air pouvait ainsi s'étendre considérablement, et l'on n'a pas même trouvé le terme de cette extension. Cette propriété a été nommée *expansibilité*, et l'on a dit que l'air était très-expansible. Mais on voit bien que cette propriété est une suite de la grande élasticité de l'air, et de l'état habituel de compression dans lequel il se présente à nous.

§. 137. Le piston étant au bas du corps de pompe, si on le fait remonter sans autre, on reportera ainsi dans le récipient l'air qui en était sorti; mais si, avant cela, on tourne le robinet R, et que ce robinet soit percé de manière à ce que, par ce mouvement, la communication soit fermée entre le récipient et le corps de pompe, et qu'elle soit ouverte en échange entre le corps de pompe, et l'air extérieur, alors, en remontant le piston, on chassera dans la

chambre l'air qui était passé du récipient dans le corps de pompe.

§. 138. Cela fait, on pourra, en replaçant le robinet comme il l'était d'abord, rouvrir la communication du récipient avec le corps de pompe, et recommencer l'opération, pour extraire ainsi une nouvelle quantité d'air du récipient.

§. 139. Après quelques coups de piston, on s'appercevra que le récipient adhère à la platine PL, et on ne pourra facilement l'en séparer. Cet effet est dû à la pression de l'air extérieur, qui se fait sentir dans tous les sens; et qui applique l'un contre l'autre le récipient et la platine. Cette pression n'était pas sensible tant que le récipient contenait de l'air aussi dense que l'air extérieur, parce que cet air, comme nous l'avons dit (§. 130, 131), pouvait contrebalancer cette pression; mais plus cet air est raréfié, moins il fait d'effort pour se raréfier encore, et moins il peut contre-balancer la pression extérieure, qui devient alors prépondérante.

§. 140. Cela peut même aller au point que le récipient soit brisé en éclats, du moins si c'est un vase de verre applati par dessus, ou par les côtés; car s'il est arrondi, la forme de voûte fait que ses parties se soutiennent les

unes les autres, et qu'il peut ainsi résister à une pression très-forte.

§. 141. La pompe pneumatique étant inventée, on fit le vide dans un récipient portant un tube de Toricelli, comme celui de la fig. 17, et l'on vit le mercure baisser dans le tube, à mesure que l'on pompait; ce qui prouvait bien que c'était l'air qui soutenait le mercure dans ce tube; puisqu'il descendait à mesure qu'on diminuait la densité de cet air.

§. 142. On peut ainsi amener le mercure à n'avoir plus dans le baromètre que quelques lignes au-dessus du niveau; mais on n'est jamais parvenu à l'amener au niveau même; ce qui provient, soit de l'imperfection des machines, soit de la prodigieuse expansibilité de l'air, en conséquence de laquelle il remplit toujours le récipient et le corps de pompe, tout en se dilatant extraordinairement; de manière que chaque coup de piston n'extrait jamais qu'une partie de l'air qui se trouve alors dans les vaisseaux.

§. 143. Nous venons de voir que le baromètre ne se soutient pas dans le vide; on a trouvé aussi que la pompe aspirante n'y jouait pas. Enfin on a fait le vide dans un grand ballon de verre garni d'un robinet; puis, ayant fermé ce robinet, pour empêcher la rentrée de l'air, on

a suspendu le ballon à une balance, et on a trouvé qu'il pesait moins, ainsi vide d'air, que plein ; ensorte que l'air, par ce moyen, a été pesé à la balance. Tout prouve donc que l'air est pesant.

§. 144. Après avoir raréfié l'air, on voulut le condenser, c'est-à-dire qu'après avoir extrait une portion de l'air contenu dans un récipient V, fig. 18, et forcé ainsi l'air restant à s'étendre, on voulut porter dans ce même récipient plus d'air qu'il n'en contenait naturellement, et forcer ainsi cet air à céder une partie de sa place à celui qu'on lui associait.

§. 145. Supposant, par exemple, que le récipient V vienne d'être posé sur la platine PL, imaginons qu'on tourne le robinet de manière à fermer la communication du récipient au corps de pompe, en établissant celle de l'air extérieur avec ce même corps de pompe, et qu'on fasse ensuite descendre le piston ; l'air extérieur passant par l'ouverture du robinet se portera dans le corps de pompe pour remplir le vide qui s'y ferait sans cela.

Si on retourne alors le robinet pour fermer la communication du corps de pompe avec l'air extérieur, et pour ouvrir celle du corps de pompe avec le récipient, et qu'on fasse remonter le piston ; l'air contenu dans le corps

de pompe sera chassé dans le récipient, et forcera celui qui y est renfermé à lui céder une partie de sa place.

En continuant d'opérer de la même manière, on pourra condenser beaucoup d'air dans le récipient.

§. 146. Cependant, il faut observer que cet air, en arrivant dans le récipient, tend à le soulever, et que, résistant à la compression qu'on lui fait éprouver, il fait en quelque sorte effort pour passer sous les bords du récipient et se répandre dans la chambre. C'est pourquoi cette opération ne réussirait point si, au moyen d'une espèce de presse, on n'assujettissait pas solidement le récipient sur la platine PL.

§. 147. Il est bien clair que cet air, ainsi comprimé et condensé, tend à reprendre le volume qu'il peut avoir sous la pression habituelle de l'atmosphère, et qu'il s'échappe avec force du récipient V dès qu'on lui donne la moindre issue; tout comme l'air extérieur se porte avec force dans le récipient V quand celui-ci est vide et qu'on ouvre un passage à cet air.

Ce premier effet est le principe du fusil à vent, de la fontaine de compression, et même de la fontaine d'Héron. Le second est le principe du siphon, de la fontaine intermittente,

du tâte-vin et des entonnoirs magiques. Les deux ensemble peuvent servir à l'explication des phénomènes que présente le diable de Descartes (1).

§. 148. Quoique l'air, comme nous venons de le voir, soit très-compressible, cependant, quelque force comprimante qu'on lui applique, il continue d'occuper un certain espace, et ne souffre point qu'aucun autre corps remplisse en même tems que lui le lieu qu'il occupe. C'est ce qu'on a nommé l'*impénétrabilité* de l'air. Mais en disant que l'air était impénétrable, on n'a pas dit grand chose, puisqu'on a seulement voulu faire savoir par là qu'une bouteille ordinaire, par exemple, ne pouvait

---

(1) Je renvoie pour la connaissance de ces machines aux traités de physique les plus répandus. J'indiquerai seulement une expérience à l'appui de la théorie du siphon. Cette expérience consiste à plonger la plus grande branche de cet appareil dans le liquide, et à l'enfoncer jusques à ce que l'orifice de la plus courte, qui est alors extérieure, se trouve au-dessous du niveau. Cela fait, on aspire, et l'écoulement a lieu comme à l'ordinaire. Mais si on soulève doucement le siphon, au moment où l'orifice de la branche extérieure arrive au niveau du liquide l'écoulement s'arrête, et le siphon reste plein. Enfin, si on le soulève encore un peu, de manière à ce que l'orifice de la branche extérieure se trouve au-dessus du niveau, au même instant tout le liquide qui remplissait le siphon retourne dans le vase où l'autre branche est plongée.

être en même tems tout-à-fait pleine d'air et tout-à-fait pleine d'eau. Ainsi, quand on remplit d'eau une bouteille qui était pleine d'air, celui-ci comme plus léger monte, s'échappe de la bouteille et cède sa place à l'eau.

§. 149. Mais si l'air ne pouvait sortir, alors l'eau ne pourrait entrer. Qu'on prenne, par exemple, une bouteille vide, et qu'on ajuste à son ouverture un entonnoir qui joigne si bien que l'air ne puisse passer entre l'entonnoir et la bouteille, qu'on verse alors de l'eau un peu brusquement dans l'entonnoir, cette eau ne passera point dans la bouteille, parce que l'air qui ne pourra sortir empêchera l'eau d'entrer.

§. 150. Il en passera cependant une petite quantité, parce que l'eau qui sera dans l'entonnoir, comprimera l'air par la pression qu'elle exercera sur lui à l'ouverture inférieure de l'entonnoir, pression qui sera proportionnelle à cette ouverture et à la hauteur de l'eau, l'air cédera donc à cette petite pression, se laissera condenser, diminuera un peu de volume, et fera place à une petite quantité d'eau qui descendra dans la bouteille; mais bientôt l'équilibre aura lieu entre la réaction de l'air et la pression de l'eau, et l'écoulement cessera aussitôt.

§. 151. C'est par la même raison qu'un verre à boire vide, qu'on renverse, et qu'on enfonce ainsi renversé dans un réservoir d'eau, ne se remplit point de ce fluide. L'air qui est naturellement contenu dans le verre, comprimé par la pression inférieure de l'eau, lui cède un peu de sa place, et d'autant plus qu'on enfonce plus profondément le verre, et que la pression de l'eau devient ainsi plus forte; mais cet air continue toujours d'occuper un espace, qui ne saurait être occupé en même tems par l'eau. C'est là le principe de la cloche du plongeur.

Il n'est pas besoin de dire que si l'on fait une ouverture au fond du verre, l'air s'échappe par là, et que l'eau prend alors sa place.

§. 152. Ayant ainsi établi ce qu'on appelle l'impénétrabilité de l'air, de ce corps le plus léger, le plus fluide, le plus pénétrable en apparence de ceux que nous pouvons saisir, on en a conclu que l'impénétrabilité était une propriété générale de la matière, et que tous les corps étaient impénétrables, du moins dans le sens que nous venons d'indiquer.

§. 153. Mais, dira-t-on, l'eau pénètre le sable, et certaines liqueurs se pénètrent, puisque l'esprit de vin et l'eau, par exemple,

occupent moins d'espace quand ils sont mêlés qu'avant de l'être (1).

Cela est vrai, mais ces pénétrations ne sont point de véritables pénétrations dans le sens dans lequel on vient de prendre ce mot. Elles prouvent seulement qu'un corps fluide peut se loger dans les pores d'un corps solide, ou d'un autre corps fluide; et je ne crois point dans le fond qu'on veuille l'entendre autrement quand on prétend que les corps se pénètrent (2).

§. 154. Ces espèces de pénétrations prouvent donc la porosité des corps, et nous ramènent ainsi à cette propriété que nous avons déjà indiquée comme une propriété générale des corps connus (§. 80, 81).

C'est ici qu'on pourra placer plusieurs expériences qui se font au moyen de la pompe pneumatique, et qui tendent à prouver la porosité de différens corps. On ne doit point faire ces expériences avant d'avoir expliqué le jeu de la pompe pneumatique, et par conséquent les propriétés de l'air.

---

(1) Une mesure quelconque d'esprit de vin et une mesure égale d'eau, ne donnent pas deux mesures de mélange.

(2) Le mieux serait de substituer au mot d'impénétrabilité un autre terme, pour exprimer la propriété dont il s'agit ici.

§. 155. Par exemple, si l'on met un œuf de poule au fond d'un verre à boire plein d'eau, et qu'on place cet appareil sous le récipient V, fig. 18, au moment où l'on fera agir la pompe, on verra une quantité de bulles d'air qui sortiront de l'œuf à travers les pores de la coque.

Cet air communiquait par les pores de l'œuf avec l'air extérieur, et il était ainsi comprimé par tout le poids de l'atmosphère; mais du moment où l'on a fait cesser cette compression, en vidant d'air le récipient V, alors celui de l'œuf a repris son volume, ce qu'il n'a pu faire sans sortir.

§. 156. De même si, au lieu du récipient V, on en prend un autre, ouvert par les deux bouts, et qu'on cimente à son ouverture supérieure un gobelet de bois, ayant un fond très-épais, quand on versera du mercure dans ce gobelet, et qu'on fera le vide dans le récipient, la pression de l'air extérieur sur la surface du mercure, forcera celui-ci à passer à travers les pores du bois, et on le verra tomber en pluie fine dans le récipient.

§. 157. On pourra imiter cet effet, sans la pompe pneumatique, en mettant dans une peau de chamois une certaine quantité de mer-

cure, pour en faire un nouet, et en comprimant ce nouet avec la main ; le mercure filtrera également à travers les pores de la peau, et tombera en fine pluie dans un vase qu'on placera au-dessous.

§. 158. Si les corps n'étaient point du tout poreux, ils ne seraient point du tout compressibles ; car on ne pourrait, dans cette supposition, les réduire à un moindre volume sans obliger leurs particules à se pénétrer les unes les autres, ce que nous savons être impossible. Mais les corps étant poreux, et leurs particules ne se touchant point, ou du moins pas dans tous les sens, on conçoit comment ces particules peuvent quelquefois être rapprochées par une force suffisante, et les corps se trouver ainsi plus ou moins compressibles.

§. 159. Du reste, si ces particules, ou ces parties des corps adhérent assez entr'elles pour n'être pas facilement séparées les unes des autres, leur réunion forme ce que l'on appelle des corps *solides*.

§. 160. Si ces parties, au contraire, n'adhérent que peu ou point entr'elles, ensorte qu'elles se séparent facilement les unes des autres, leur réunion forme ce que l'on appelle des corps *fluides*, ou des *fluides*.

§. 161. En outre, les fluides, quand ils ont comme l'eau la propriété de prendre le niveau, se nomment *fluides liquides*, ou simplement *liquides ;* quand ils ne prennent point le niveau, qu'ils se laissent comprimer, et reprennent leur volume quand la compression cesse, enfin qu'ils tendent à occuper plus d'espace qu'ils n'en occupent ordinairement, ils se nomment *fluides élastiques* et *expansibles.* Quand on suppose que leurs parties se touchent plus ou moins, on les nomme *fluides continus ;* et quand on suppose que leurs parties ne se touchent point, on les nomme *fluides discrets.*

§. 162. On observera ici qu'en parlant de l'air nous avons été naturellement conduits à parler de quelques propriétés générales de la matière. Nous indiquerons les autres à mesure que l'occasion s'en présentera, et que nous aurons d'ailleurs besoin de les connaître.

Si cette marche nous détourne quelquefois de notre sujet principal, nous ne regarderons cependant pas cela comme un défaut de méthode. La première règle est sans doute celle qui prescrit d'être clair et de se rendre intelligible.

§. 163. Du reste, nous ne dirons rien de l'*étendue*, de la *figurabilité*, de la *mobilité*, de

la *quiescibilité*. Il n'est pas besoin d'avoir fait un cours de physique pour savoir que tous les corps sont étendus, qu'ils ont une figure, et qu'ils peuvent être en mouvement ou en repos. Tout au plus peut-on, à ce qu'il nous semble, indiquer ces choses-là. Mais revenons à l'air (*).

§. 164. Nous avons vu qu'il était pesant, élastique, expansible, et que sa pression, comme celle des liquides, était proportionnelle à sa hauteur et à sa base.

§. 165. Nous avons déjà pu voir, d'ailleurs, que cette pression se faisait sentir dans tous les sens, et ce qui peut le prouver encore,

---

(*) Le Citoyen [illegible] Fréront, Membre de la Société des sciences [illegible] Département du Lot, séante à Mon[illegible], et dont l'amitié m'est [illegible] [illegible] observer quelques erreurs [illegible] dans la rédaction de [illegible], je me suis empressé [illegible] qui ont changé en partie [illegible]; 65, 66, 70, et suiv. [illegible] [illegible] témoins ici pour [illegible] observations qu'il m'a mis dans [illegible] de la preuve d'attachement [illegible] lui.

c'est que le récipient V, fig. 18, lorsqu'il est vide d'air, adhère à la platine P L, de quelque manière qu'on tourne la pompe; qu'on la tienne droite, renversée, couchée, etc.

§. 166. Nous devons conclure de là que, comme les liquides, il soutient les corps qui sont plongés dans son sein, et leur fait perdre de leur poids une partie égale au poids du volume d'air qu'ils déplacent.

§. 167. Si nous supposons donc une balle de plomb et une grosse boule creuse de cuivre mince, ayant le même poids dans l'air, ces corps n'auront plus le même poids dans le vide, puisque la grosse boule, en raison de son volume, perdant plus de son poids dans l'air que la petite, se trouvera nécessairement plus pesante dans le vide, où elle recouvrera le poids qu'elle avait perdu de plus que la balle. Et c'est ce que l'expérience confirme.

On peut donc dire, à la rigueur, qu'une livre de plume pèse réellement plus qu'une livre de plomb.

§. 168. Ayant vu le récipient V adhérer, pendant qu'il était vide, à la platine de la pompe, on put, d'après sa surface, et en partant des principes que nous avons posés, calculer quel devait être le degré de cette adhérence, si le vide était supposé parfait.

plus de 72 myriagrammes (1) avant de se séparer.

Cependant un poids d'environ 2 myriagrammes (2) eut dû les détacher l'un de l'autre, si l'air seul eût résisté à leur séparation.

Ils portèrent donc une charge trente-six fois plus forte qu'elle n'aurait dû l'être dans cette dernière hypothèse.

§. 174. Or tout effet a une cause; celle-ci doit sans doute être mise au nombre des *forces*, et, pour la distinguer de toute autre, on peut la nommer *force de cohésion* ou *d'adhérence*.

Nous allons maintenant nous occuper de cet objet; 1°. parce que nous y avons été conduits par l'analyse, et 2°. parce que nous n'avons plus rien à dire de l'air, dont nous connaissons suffisamment les propriétés.

§. 175. Et d'abord, il est clair que si les plaques en question devenaient très-petites, elles adhéreraient cependant encore l'une à l'autre; mais avec une force proportionnée à l'étendue de leur contact.

§. 176. Cette même adhérence aurait lieu sans doute entre deux particules de matière; et l'on ne peut douter que ce ne soit cette force

(1) Environ 1472 livres.

(2) Quarante-une livres.

qui unit entr'elles les plus petites parties des corps; celles qu'on nomme leurs *élémens* (§. 17.); et, par conséquent, si elle était tout d'un coup anéantie, tous les corps tomberaient en poudre.

§. 177. Il ne serait pas raisonnable de supposer que les élémens ont la forme de crochets, et que cette forme est le principe de la consistance des corps; car, ou ces crochets ne pourront être rompus, et les corps seront eux-mêmes indivisibles, ce qui est contraire à l'expérience; ou ces crochets pourront être rompus, et il s'agira de savoir alors quelle est la force qui unit leurs parties.

§. 178. On ne peut pas dire non plus que les élémens sont liés par des colles ou des soudures; car les parties des colles et des soudures ont aussi entr'elles de l'adhérence, et l'on pourrait encore demander d'où elle provient. Mais les colles et les soudures ne font adhérer les corps qu'en remplissant les vides que leurs surfaces laisseraient entr'elles, et en procurant ainsi le contact des parties.

§. 179. La cohésion seule unit donc les élémens des corps, et elle a lieu dès que le contact a lieu, ou du moins dès que les parties des corps sont à des distances insensibles. A l'instant où cette distance devient sensible la cohésion cesse.

§. 180. Mais quoique cette adhérence ait lieu entre toutes les parties de la matière, elle n'est cependant pas égale dans toutes les substances matérielles : cette force a ses degrés, et de son plus ou moins d'énergie dépend le plus ou moins de ténacité, le plus ou moins de consistance des corps ; de ses degrés et de ses différentes manières d'être dépendent leur dureté, leur mollesse, leur élasticité, leur fluidité, etc.

§. 181. Qu'on n'imagine point que la cohésion soit une cause qui puisse être comparée à *l'horreur du vide* des anciens : Nous sommes loin de vouloir transporter aux corps inanimés des manières d'être qui ne conviennent qu'aux corps animés ; nous ne prétendons point, par exemple, que ce soit par *affection* mutuelle que les parties des corps adhèrent les unes aux autres ; mais nous exprimons par le mot *cohésion* un effet que nous voyons, qui tombe sous les sens, et dont la cause nous échappe. Cette [illegible] qu'inconnue, n'en est pas moins [illegible] jugeons d'elle par ses effets, et [illegible] nous sera peut-être permis de re[illegible] cause. Cette cause n'est sans doute [illegible] *attraction proprement dite*, entre les [illegible] corps, quoique nous puissions quel[illegible] désigner par ce mot qui est commode, [illegible] opte. La cohésion, selon toute appa-

rence, est produite par l'impulsion de quelque fluide, dont les effets, dans certaines circonstances, comme celle des plaques, sont rendus plus intenses par l'action simultanée de l'air.

§. 182. Mais la cohésion ayant lieu sous un récipient, même lorsqu'il est vide d'air, il est clair que le *fluide cohésifique* (1), doit traverser les pores des récipiens, pour pouvoir agir dans leur intérieur.

Une portion de ce fluide est sans doute arrêtée par les parties solides du récipient, et produit leur cohésion, l'autre portion passe dans le récipient, au travers des pores du verre, et va produire la cohésion des corps qui sont dans l'intérieur.

§. 183. La cohésion dans les fluides n'est pas telle que leurs parties ne puissent se mouvoir facilement les unes sur les autres, et il en résulte que les fluides, en vertu de la force qui tend à rapprocher leurs parties, sont disposés

---

(1) On voit qu'il est ici question du système du Citoyen Lesage de Genève, sur la cause de la gravitation universelle, système qui rend raison, de la manière la plus simple, la plus naturelle, et avec une rigueur mathématique, de tous les grands phénomènes de la physique. Nous aurons occasion d'en parler ailleurs un peu plus en détail. Disons, en attendant, que cette conception d'un grand génie eut honoré Newton lui-même.

à prendre la forme de boules, de globules, de sphères. C'est ce qui est sensible dans les gouttes de rosée sur les feuilles des plantes, dans les gouttes de mercure quand on verse ce fluide métallique sur une assiette vernissée, etc. etc.

§. 184. Cependant cette forme ronde des liquides est plus ou moins altérée, 1°. par la cohésion qui a lieu entre le liquide et le plan sur lequel il repose, ou le vase qui le contient, 2°. par la pesanteur de ce même liquide, en vertu de laquelle toutes ses parties tendent à descendre autant que possible.

Considérez, par exemple, une goutte de mercure sur une assiette; si elle n'obéissait qu'à la cohésion qui a lieu entre ses parties, elle prendrait une forme tout-à-fait ronde, dans tous les sens. En échange, si elle n'obéissait qu'à la pesanteur, jointe à la cohésion de ses parties avec l'assiette, elle s'applatirait tout-à-fait, et s'étendrait uniformément sur le plan qui la supporte. Mais obéissant aux deux forces en [illegible] prend une figure moyenne, c'[illegible] ronde, plus ou m[illegible], et elle participe d'autant [illegible] de ces formes que [illegible] prévaut davantage sur

§. 185. Nous avons dit que la cohésion n'agissait qu'au point de contact, ou à des distances insensibles pour nous. Cela se voit évidemment quand on place sur une assiette deux gouttes de mercure près l'une de l'autre; tant qu'elles ne se touchent point, elles n'agissent point sensiblement l'une sur l'autre, et elles restent séparées; mais du moment où on les met en contact, elles se réunissent avec promptitude pour ne former plus qu'une seule et même goutte.

§. 186. Si l'on met une petite goutte d'eau sur un carreau de vitre, et qu'on le renverse de manière que la goutte se trouve alors à la surface inférieure du verre, cette goutte, malgré la pesanteur qui tend à la faire tomber, restera cependant suspendue au carreau de vitre par la cohésion; ce qui nous prouve que l'eau et le verre adhèrent bien l'un à l'autre.

§. 187. Cette expérience, toute simple qu'elle est, peut nous conduire à des résultats intéressans; et d'abord elle nous explique l'existence de ces anneaux d'eau que l'on remarque au-dessus du niveau dans les vases de verre qui contiennent ce liquide. Je m'explique.

Prenez un vase de verre qui contienne de l'eau, sans en être tout-à-fait rempli, vous observerez un petit anneau de ce liquide élevé au-

dessus du niveau tout autour du vase. Cet effet est dû à la cohésion de l'eau avec le verre, qui est capable, comme nous venons de le voir (§. 186), de tenir ainsi suspendu un peu de ce liquide.

§. 188. Ces anneaux, à leur tour, nous conduiront à la théorie des *tubes capillaires*. On appelle ainsi des tubes dont le diamètre intérieur est si petit qu'on peut le comparer à un cheveu (1).

Il faut cependant observer que si on ne devrait à la rigueur appeler tubes capillaires, que ceux dont le diamètre peut être comparé à un cheveu, on s'est cependant écarté de cette règle en admettant dans cette classe des tubes d'un diamètre beaucoup plus considérable. Voici maintenant ce dont il s'agit.

§. 189. Supposons qu'un large tube T de verre, (fig. 20), ouvert par les deux bouts, soit plongé en partie dans un vase d'eau. Le liquide sera en général au même niveau dans le vase et dans le tube; mais il y aura de petits anneaux au-dessus du niveau, tout autour du vase, ainsi qu'à l'intérieur et à l'extérieur du tube, comme on l'a indiqué dans la figure. Seulement on a fait ces anneaux un peu grands

(1) *Capillus*, en latin, signifie un cheveu.

pour rendre plus sensible ce qu'on avait à en dire.

§. 190. Imaginons maintenant qu'on rapproche l'une de l'autre les parois de ce tube, pour en faire une espèce de tube capillaire, comme on le voit dans la figure 21 ; la cohésion qui a lieu entre le verre et l'eau ne changera pas dans cette opération ; mais il arrivera un moment où les anneaux intérieurs du tube, et qui sont composés, comme on l'a marqué dans la fig. 20, de deux parties *a* et de deux parties *c*, se confondront et se mêleront par le bas, comme on le voit dans la fig. 21, et, par cette seule disposition, le niveau de l'eau se trouvera déja élevé dans le tube. Cependant si les anneaux restaient alors tels que l'indique la fig. 21, ils ne seraient plus composés que de deux parties *a* et d'une partie *c* ; mais la force de la cohésion n'ayant point changé, et cette force pouvant élever au-dessus du niveau, dans notre tube, deux parties *a* et deux parties *c*, il est clair que la seconde partie *c* devra passer en dessus des deux parties *a*.

L'on voit par là que du moment où les anneaux auront commencé à se toucher par le bas, le niveau de l'eau devra s'élever dans le tube, et s'élever d'autant plus qu'on rapprochera davantage ses parois.

plongé en partie dans un vase contenant du mercure. Le liquide sera en général au même niveau dans le vase et dans le tube; mais il y aura de petits enfoncemens au-dessous du niveau tout autour du vase, ainsi qu'à l'intérieur et à l'extérieur du tube; et c'est ce que l'on a indiqué dans la figure; seulement, on a fait ces enfoncemens un peu grands pour rendre plus sensible ce qu'on avait à en dire.

§. 195. Imaginons maintenant qu'on rapproche l'une de l'autre les parois de ce tube, pour en faire une espèce de tube capillaire, comme on le voit dans la fig. 23, il arrivera un moment où les enfoncemens intérieurs, et qui sont composés, comme on l'a marqué dans la fig. 22, de deux parties *a* et de deux parties *c*, se confondront par le haut, comme on le voit dans la fig. 23; et par cette seule disposition le niveau du liquide se trouvera déjà abaissé dans le tube. Cependant, si les enfoncemens restaient alors tels que l'indique la fig. 23, ils ne seraient plus composés que de deux parties *a* et d'une partie *c*; mais la cohésion du mercure avec lui-même pouvant abaisser, dans l'intérieur de notre tube, deux parties *a* et deux parties *c*, il est clair que le niveau devra s'abaisser encore d'une seconde partie *c*.

On voit par là que du moment où les enfoncemens

foncemens auront commencé à se confondre par le haut, le niveau du mercure devra s'abaisser dans le tube, et s'abaisser d'autant plus qu'on rapprochera davantage ses parois. C'est ce qui arrive dans les tubes capillaires.

§. 196. Il faut cependant observer que de légères différences dans les circonstances peuvent faire varier singulièrement les résultats de ces essais.

Ainsi, quand on a fait bouillir du mercure, pour le dépouiller de toute l'humidité qu'il pouvait contenir, et qu'on lui présente un tube capillaire bien desséché, il s'y élève alors au-dessus du niveau.

Le mercure sec n'a donc pas avec le verre sec la moitié moins de cohésion qu'avec lui-même, (§. 193).

Ainsi, quand on a enduit d'un peu de suif l'intérieur d'un tube capillaire, l'eau ne s'y élève plus alors au-dessus du niveau.

L'eau a donc avec le verre gras plus de la moitié moins de cohésion qu'avec elle-même.

§. 197. C'est parce que l'eau n'est pas susceptible de contracter beaucoup d'adhérence avec les corps gras que les gouttes de ce liquide conservent une forme ronde sur ces corps-là; tandis qu'elles s'étendent et s'applatissent sur beaucoup d'autres corps.

C'est pour cela encore que l'eau pure n'enlève pas les taches de graisse de dessus les étoffes ; qu'elle ne dégraisse pas le linge ; etc. etc.

§. 198. Remarquons ici qu'il est toujours possible de remplir de liquide un vase, au delà même de ce que sa capacité semblerait permettre ; et cela, parce que l'adhérence réciproque des parties du liquide empêche qu'il ne s'écoule par dessus les bords du vase. Alors sa surface supérieure, au lieu d'être parfaitement plane ou de niveau, est toujours plus ou moins convexe et bombée.

§. 199. On peut au moyen de ces principes expliquer bien des phénomènes qui se présentent journellement à nos yeux. Nous allons nous arrêter un moment à en examiner un qui nous fournira matière à réflexion.

Si l'on a une tasse de café, ou de thé, etc. à moitié pleine, et qu'on jette dedans deux morceaux de pain, ils ne tardent pas à s'approcher l'un de l'autre, et à contracter entr'eux une sorte d'adhérence.

Ils s'approchent aussi volontiers des bords du vase, et résistent un peu à ce qu'on les en sépare.

§. 200. De même, si l'on prend deux petites boules de verre mince, soufflées à la lampe d'émailleur, et qu'on les pose sur une surface

d'eau, non-seulement elles surnageront en partie le liquide, (§. 54); mais bientôt, pour peu qu'on les rapproche, elles se précipiteront l'une contre l'autre, et resteront unies avec un certain degré de force; de manière que si on en promène doucement une sur la surface de l'eau, l'autre la suivra.

Elles s'attacheront aussi aux bords du vase, si on leur permet de s'en approcher.

§. 201. Qu'on n'imagine point cependant que cet effet soit dû à la cohésion du verre avec le verre, ou à une espèce d'attraction des boules; la cohésion n'agit point à cette distance. Voici comment on peut concevoir que la chose se passe.

§. 202. Autour de chaque boule, il y a un anneau d'eau élevé au-dessus du niveau. La coupe de ces anneaux ne forme point proprement un triangle, comme sembleraient l'indiquer les figures 20 et 21; mais la surface de cette eau élevée dessine un courbe concave en dessus, et qui s'étend plus loin qu'il ne le parait au premier coup-d'œil; cette eau, ainsi suspendue au-dessus du niveau, peut être comparée à une goutte de liquide se mouvant librement sur un plan horisontal; dès que deux boules de verre avec leurs anneaux se trouvent à une petite distance l'une de l'autre, les gout-

tes d'eau qu'elles soutiennent se touchent par le bas, et bientôt se réunissent, en obéissant à la cohésion, (§. 185). Ces gouttes en se réunissant entraînent avec elles les boules légères de verre auxquelles elles sont attachées, et ces boules, ainsi collées l'une à l'autre, forment alors une espèce de tube capillaire, dans lequel la liqueur s'élève beaucoup.

Par la même raison, chaque boule peut s'attacher aux bords du vase, et y adhérer avec une certaine force.

La même chose arrive avec deux boules creuses de cuivre mince, ou avec une boule de cuivre et une de verre.

§. 203. Mais si l'on prend une feuille de cuivre, et qu'on en coupe un morceau, d'une forme quelconque, ronde, carrée, triangulaire, ce morceau, posé doucement tout à plat sur la surface de l'eau, y restera flottant. Cependant il s'y enfoncera un peu en raison de sa pesanteur, et il formera un petit creux à la surface de l'eau; mais la pression inférieure commençant à s'exercer, il cessera de descendre, et il y aura équilibre entre la pesanteur de la feuille de cuivre et la pression inférieure de l'eau. (§. 53).

§. 204. On comprend d'ailleurs que, dans ce cas, la cohésion de l'eau avec elle-même

ne permet pas au liquide de se répandre sur la feuille de cuivre, et de la submerger. Mais cela aurait lieu si on mouillait le cuivre avant de le mettre en expérience.

§. 205. Notre morceau de cuivre reposant sur l'eau au fond d'un petit creux, si on veut l'approcher des bords du vase, ou d'une boule de verre, ou d'une boule de cuivre, en un mot d'un corps autour duquel l'eau soit élevée, il en paraîtra repoussé, ce qui est fort naturel; car vouloir le faire approcher d'un de ces corps, c'est vouloir le faire monter sur un plan incliné, et sa pesanteur le ramène nécessairement vers le bas.

§. 206. Mais si on veut changer cette répulsion apparente en attraction apparente, il n'y a qu'à façonner le morceau de cuivre en bateau, en lui formant de petits rebords qui dépassent le niveau de l'eau, et autour desquels le liquide puisse s'élever, comme autour des boules. Ce batteau s'attachera alors aux boules et aux bords du vase.

§. 207. Ce n'est pas tout: si le morceau de cuivre plat paraît repoussé par la boule de verre, par celle de cuivre, par le batteau de même matière, et par les bords du vase, il paraît en échange attiré par un autre morceau de cuivre plat, qui se trouve, comme lui, au

fond d'un petit creux à la surface de l'eau. Et la même chose a lieu aussi entre deux boules de fer, posées sur le mercure : elles s'y enfoncent un peu, et se précipitent l'une contre l'autre, quand elles ne sont pas trop éloignées; car les creux ou les enfoncemens dont ces corps sont environnés, commençant à se confondre par le haut dès qu'on approche ceux-ci l'un de l'autre, le niveau du liquide se trouve abaissé entr'eux, comme entre les parois du tube fig. 23, (§. 198), et la pression des colonnes extérieures aux corps flottans devenant ainsi plus forte que la pression des colonnes intérieures, ces corps sont alors poussés les uns contre les autres.

DU MOUVEMENT DES CORPS EN GÉNÉRAL,

Et en particulier,

DU MOUVEMENT DES SOLIDES.

§. 208. Si l'on considère un corps sous le point de vue de la propriété qu'ils possèdent tous de pouvoir passer du repos au mouvement, ce corps, envisagé ainsi, se nomme un *mobile*.

§. 209. La place qu'un mobile occupe dans un moment donné, qu'il soit en repos ou en mouvement, se nomme le *lieu* du mobile.

§. 210. Si le mobile est en *repos*, il ne change point de lieu; s'il est en *mouvement*, il passe successivement d'un lieu dans un autre, il change sans cesse de lieu.

§. 211. Mais il y a des corps que nous pouvons croire en repos, et qui cependant sont en mouvement. Ainsi, par exemple, si la terre tourne autour du soleil, elle emporte avec elle tous les corps qui sont à sa surface, et ceux même de ces corps que nous disons en repos, sont pourtant alors dans un mouvement continuel. En d'autres termes, ces corps, que nous

pouvons croire ne point changer de lieu, en changent à chaque instant.

§. 212. Cette observation nous fera comprendre qu'on peut diviser le lieu en *lieu absolu* et en *lieu rélatif;* et par conséquent le repos en *repos absolu* et *repos rélatif*, et le mouvement en *mouvement absolu* et *mouvement rélatif.*

§. 213. Pour nous faire une idée du lieu absolu, supposons pour un moment que tous les corps soient anéantis, nous nous représenterons cependant encore un *espace* immense, immobile et pénétrable, dans lequel de nouveaux corps pourraient être placés, et qui continuera d'être ou d'exister malgré l'anéantissement de la matière.

Cela posé, rapportons par la pensée la position d'un corps aux parties de cet espace, quel qu'il soit, sans égard aux corps environnans, et nous aurons l'idée du lieu absolu de ce corps.

§. 214. On appelle donc *absolu* le *lieu* d'un corps, quand on le considère en lui-même, et sans aucune rélation avec celui des corps environnans.

On l'appelle *rélatif*, quand on ne le considère point en lui-même; mais simplement eu égard à celui des corps environnans.

§. 215. Par conséquent le *repos absolu* est celui d'un corps dont le lieu absolu ne change point.

Le *repos rélatif* est celui d'un corps dont le lieu relatif ne change point.

Le *mouvement absolu* est celui d'un corps dont le lieu absolu change.

Le *mouvement rélatif* est celui d'un corps dont le lieu rélatif change.

§. 216. Ainsi, quand nous disons qu'un corps placé à la surface de la terre ne change point de lieu, cela doit s'entendre du lieu rélatif et non du lieu absolu. Ce corps là, si la terre se meut, n'a qu'un repos rélatif, tandis qu'il a un mouvement vrai et absolu.

§. 217. Mais nous ne pouvons nous représenter un corps passant successivement d'un lieu dans un autre, sans avoir l'idée d'un espace parcouru par ce corps, et d'un intervalle de tems employé à le parcourir. L'idée du mouvement emporte donc avec elle celle de l'espace et celle du tems.

§. 218. Plus l'espace parcouru par un mobile, dans un tems donné, est grand, plus nous disons que la *vîtesse* de ce mobile est grande, et réciproquement. C'est donc par l'espace et par le tems que nous jugeons de la vîtesse.

En effet, il ne suffirait pas de savoir qu'un homme a fait dix myriamètres de chemin pour pouvoir affirmer qu'il a bien marché; il faudrait encore connaître pour cela, pendant combien de tems il a été en route.

§. 219. Si l'on dit qu'un courrier a fait 4 myriamètres dans 12 heures, on voit qu'il n'a pas marché avec autant de vîtesse qu'un autre courrier qui aurait fait 6 myriamètres dans 6 heures.

Mais pour pouvoir comparer ces vîtesses avec exactitude, il faut calculer le chemin que l'un et l'autre ont fait dans le même tems, par exemple, dans une heure.

Or le premier ayant fait 4 myriamètres dans 12 heures, n'a fait que $\frac{4}{12}$ ou $\frac{1}{3}$ de myriamètre par heure; ce que l'on trouve en divisant 4 par 12.

Le second ayant fait 6 myriamètres dans 6
res, a fait par heure $\frac{6}{6}$ de myriamètre ou
1 myriamètre entier; ce que l'on trouve en
t 6 par 6.

esse du second, qui est 1, est donc
e, la vîtesse du premier, qui n'est

omme nos deux dividendes représen-
pace et nos deux diviseurs le tems, et
sent bien qu'il faudrait s'y prendre

de la même manière pour calculer tout autre exemple, on peut dire, en général, que la vîtesse d'un mobile se trouve en divisant l'espace parcouru par ce mobile, par le tems qu'il a employé à le parcourir; ou, plus simplement, que *la vîtesse est égale à l'espace divisé par le tems.*

§. 220. Cependant il faut faire attention que ce n'est là qu'une manière simple et abrégée d'indiquer un calcul à faire, et que cette expression ne doit pas être prise à la lettre; car une quantité concrète ne peut pas être divisée par une quantité concrète, d'une autre nature que la première. (Voyez *Arithmétique d'Emile.* §. 389. 390.) Voici donc proprement comment se fait cette estimation.

Quand un voyageur a fait 4 myriamètres dans 12 heures, il est clair qu'il n'a fait par heure que la 12me partie de 4 myriamètres. Pour savoir quelle est cette partie, on divise donc les 4 myriamètres par le nombre abstrait 12, et le quotient $\frac{1}{3}$ exprime ici une quantité de même espèce que le dividende, c'est-à-dire $\frac{1}{3}$ de myriamètre, qui est l'espace parcouru par le voyageur dans chaque heure de tems. C'est donc alors proprement l'espace total qui a été divisé en parties égales exprimant les espaces partiels.

La même chose a lieu quand on divise les

6 myriamètres d'un autre voyageur par le nombre abstrait 6, égal au nombre d'heures qu'il a marché, pour avoir au quotient 1 myriamètre, espace parcouru dans chaque heure de tems.

Les nombres $\frac{1}{3}$ et 1 qu'on a alors, expriment donc proprement des espaces; mais des espaces parcourus par deux mobiles dans des tems égaux.

Or, il est bien clair qu'en tems égaux les vîtesses de deux mobiles sont entr'elles comme les espaces.

Donc, dans ce cas, la vîtesse du premier est à la vîtesse du second, comme $\frac{1}{3}$ espace parcouru par le premier est à 1 espace parcouru par le second.

Donc la vîtesse du premier n'est que le tiers de la vîtesse du second; ou la vîtesse du second est triple de la vîtesse du premier.

On raisonnerait de même pour tout autre exemple; ce qui fait voir dans quel sens il faut prendre la règle indiquée.

Consultez, pour la mesure du tems, l'*Arithmétique d'Emile*, §. 402 à 405.

§. 221. Si un mobile, dans des tems égaux et successifs, parcourt des espaces égaux, sa vîtesse est *uniforme*.

Si, dans des tems égaux et successifs, il par-

court des espaces qui vont en augmentant, sa vîtesse est *accélérée.*

Si, dans des tems égaux et successifs, il parcourt des espaces qui vont en diminuant, sa vîtesse est *retardée.*

Enfin la vîtesse accélérée peut être *uniformément accélérée* ou non; et la vîtesse retardée peut être *uniformément retardée* ou non.

Tous ces mouvemens se nomment *variés.*

§. 222. Pour qu'un corps passe ou tende à passer du repos au mouvement, il faut qu'une cause agisse sur lui, et le sollicite, en quelque sorte, à changer d'état. Cette cause, quelle qu'elle soit, s'appelle alors *cause motrice*, ou *force motrice*, ou *puissance.*

De même, pour qu'un corps qui se meut actuellement avec une certaine vîtesse, vienne à augmenter cette vîtesse, il faut que cette augmentation soit produite par quelque cause, que l'on appelle aussi, dans ce cas, *cause motrice*, *force motrice*, ou *puissance.*

La pesanteur, en vertu de laquelle tous les corps s'approchent ou tendent à s'approcher de la terre, (§. 4.), est une force motrice.

L'élasticité, ou la force de ressort, quand elle meut un corps, ou que seulement elle tend à le mouvoir, est une force motrice.

Le choc d'un corps en mouvement, soit contre un corps en repos, soit contre un corps dont le mouvement est plus lent que le sien, est aussi une force motrice.

§. 223. Si une force agit sans cesse, ou par petits intervalles, sur un corps qui se meut, la vîtesse du mobile, considérée dans des intervalles plus grands, sera accélérée, et la force motrice prendra le nom de *force accélératrice*.

Mais cette force capable d'accélérer la vîtesse d'un corps qui se meut dans un certain sens, sera capable aussi de retarder celle d'un corps qui se mouvra dans un sens opposé, et elle recevra, dans ce cas, le nom de *force rétardatrice*.

Ce sont ces forces accélératrices et rétardatrices qui produisent les mouvemens variés. (§. 221).

§. 224. Si un mobile, envisagé comme soumis à la pesanteur, est placé sur un support [illegible] pêche de descendre, il est bien clair [illegible] sera ce support (§. 12), et que la [illegible] rice qu'il possédera alors ne sera plus [illegible] *de pression*, qu'on pourra nommer [illegible] *morte*, pour la distinguer de la force [illegible] possèderait ce même corps s'il

était actuellement en mouvement, et que l'on nommerait alors *force vive.*

On comprend d'ailleurs que la force morte ou de pression pourrait aussi être produite par l'action d'un ressort.

§. 225. Dans la force morte, le mobile n'a aucune *vîtesse actuelle*, puisqu'il n'a aucun mouvement; mais il tend à acquérir une certaine vîtesse, puisqu'il fait effort pour se mouvoir. Cette vîtesse, qu'il tend à acquérir, c'est-à-dire celle qu'il aurait au moment même où il commencerait à se mouvoir, si l'obstacle qui le retient était écarté, se nomme sa *vitesse virtuelle.*

§. 226. Quand une force motrice agit sur un corps, elle a à combattre une certaine résistance que lui oppose ce corps; on dit alors que la force motrice agit et que le corps soumis à son action réagit; et c'est là ce qu'on appelle en effet l'*action* et la *réaction.*

§. 227. Si la force motrice n'est autre chose qu'un corps en mouvement venant choquer un corps en repos, ou un corps dont le mouvement est plus lent que le sien, le corps *choquant* agit et le corps *choqué* réagit.

Si les deux corps sont en mouvement, mais dans des sens opposés, et qu'ils se choquent en venant à la rencontre l'un de l'autre, on

les considére alors comme agissant tous les deux et réagissant aussi tous les deux.

L'action, dans ces trois derniers cas, et la réaction, dans tous les cas, ont été envisagées comme l'effet d'une force qui appartient à tous les corps, qu'ils soient en repos ou en mouvement, et que l'on a nommée *force d'inertie*. Elle n'est autre chose, dans le fond, que la *tendance de la matière à persévérer dans son état de mouvement ou de repos* (1).

§. 228. Mais comme nous éprouvons tous les jours que plus un corps a de poids absolu (§. 87. 88), plus nous avons de peine, soit à le mouvoir s'il est en repos, soit à accélérer sa vîtesse s'il est en mouvement, soit à détruire ce mouvement, nous sommes naturellement portés à croire, avant tout examen ultérieur, que les corps ne tendent à persévérer dans leur état qu'à cause de leur poids.

Cependant la pesanteur n'agissant que de haut en bas, et l'inertie des corps se faisant sentir dans tous les sens, comme on le comprendra par les exemples que nous allons citer, il en faut conclure que la pesanteur et l'inertie sont des choses distinctes, et qu'elles ne proviennent pas l'une de l'autre.

---

(1) La Place, Système du monde.

§. 229.

§. 229. Ainsi 1°. Un corps en repos résiste au mouvement dans tous les sens possibles. Il y résiste même dans le sens de la pesanteur; car

2°. Si un corps tombe, en obéissant à la pesanteur, et avec toute la vîtesse que cette force peut lui donner, et qu'on veuille accélérer cette vîtesse, en le frappant par exemple avec la main, on sent qu'il résiste de bas en haut, tout comme de haut en bas. Il résiste donc à l'accélération, et il résiste en vertu d'une force bien distincte de la pesanteur, puisque celle-là peut agir en sens contraire de celle-ci.

3°. Si on lance un corps de bas en haut, il s'élève ainsi plus ou moins, quoique la pesanteur s'oppose à son ascension; ce qui prouve qu'il résiste à la retardation; et que la cause de cette résistance ne saurait être la pesanteur, puisqu'elle lui est opposée.

La force d'inertie ne provient donc point de la pesanteur.

§. 230. Il est bien clair d'ailleurs que cette force, qui appartient nécessairement à chaque particule de matière, doit être, par cela même, proportionnelle à la masse des corps (§. 83); c'est-à-dire que plus les corps auront de masse et plus ils auront de force d'inertie.

Il n'est pas moins évident que cette force

doit aussi être proportionnelle à la vîtesse qu'on veut communiquer aux corps, s'il s'agit de leur donner du mouvement, ou d'augmenter celui qu'ils ont déja, ou à la vîtesse qu'on veut leur ôter, s'ils sont en mouvement, et qu'on cherche soit à rallentir ce mouvement, soit à le détruire (1).

§. 231. Si nous avons donc deux corps en mouvement, et que le second ait deux fois plus de masse et trois fois plus de vîtesse que le premier, l'effort qu'il pourra faire contre un obstacle qu'on lui présentera sera six fois plus grand que celui de l'autre; car ayant, en quelque sorte, deux masses, et chacune de ces masses ayant, si je puis m'exprimer ainsi, trois vîtesses, l'effort total sera deux fois trois fois plus grand; c'est-à-dire six fois plus grand.

C'est pourquoi l'on pourra dire, en généralisant cela, que l'effort d'un corps en mouvement est égal au produit de sa masse par sa vîtesse; et c'est aussi ce que l'on appelle, la *quantité de mouvement* d'un corps.

Cependant, il faut faire attention que dans cette manière d'évaluer la *force vive* d'un corps (§. 224), nous ne faisons attention qu'à l'effet qu'il pourrait produire sur l'obstacle à l'instant

---

(1) Voyez Système du monde, T. I. p. 246 à 252.

même du choc, et que nous ne parlons point de l'action continuée du mobile contre l'obstacle.

§. 232. En appliquant ces principes à l'évaluation de la *force morte* d'un corps, (§. 224), nous verrons qu'elle est aussi égale au produit de sa masse par sa vîtesse virtuelle (§. 225); c'est-à-dire par la vîtesse que le mobile aurait au moment même où il viendrait à se mouvoir; et ce produit, dans ce cas, a reçu le nom de *moment* (1).

Ainsi la quantité de mouvement et le moment ne diffèrent l'un de l'autre que comme la force vive et la force morte. Le premier mot est rélatif à l'effort d'un corps qui se meut actuellement, et le second à l'effort d'un corps qui tend à se mouvoir.

§. 233. Du reste, l'inertie, considérée comme résistance au mouvement, (§. 228), est donc un obstacle au mouvement, et il nous paraît qu'il serait utile de rechercher, avant d'aller plus loin, quels pourraient être les autres obstacles au mouvement des corps; car comment, dans les expériences que nous ferons sur le mouvement, pourrions-nous estimer l'effet de

---

(1) Voyez la Méchanique analytique, par La Grange. 1788. in-4°, p. 8 et 9.

C'est pourquoi l'on a soin d'enrayer les roues des voitures quand elles doivent descendre sur un plan très-incliné, et cela pour augmenter le frottement, et rendre ainsi le mouvement plus difficile.

§. 235. Du reste, cette dernière observation nous fera comprendre que si le frottement a son désavantage comme obstacle au mouvement, il a souvent aussi son utilité. Et nous pourrions citer encore à l'appui de cela, plusieurs machines, entr'autres les compas, et divers instrumens à charnières, qui ne peuvent rester plus ou moins ouverts, comme leur usage le demande, qu'à la faveur du frottement.

§. 236. La pesanteur, qui tend à porter tous les corps vers la terre, et qui doit être mise au rang des forces motrices, est souvent aussi en obstacle au mouvement, soit parce qu'elle s'oppose aux mouvemens qui se font de bas en haut, soit parce qu'en ramenant vers la terre tous les corps qui sont près de sa surface, elle ne leur permet pas de se mouvoir aussi longtems qu'ils le feraient sans cela, soit parce qu'en pressant les corps contre les plans qui les supportent, elle augmente la pénétration mutuelle de leurs parties, et rend ainsi le frottement plus considérable.

§. 237. Enfin les corps se meuvent souvent

dans le même tems, et, par conséquent, plus il y aura de mouvement perdu.

Pour estimer la résistance des milieux, il faut donc faire attention à leur densité.

§. 241. Mais, la densité de deux milieux étant égale, il pourrait y avoir plus d'adhérence, plus de cohésion, entre les parties de l'un qu'entre les parties de l'autre, ce que nous exprimerons en disant de ce fluide qu'il est plus visqueux, qu'il a plus de *viscosité* que l'autre; et il est bien clair qu'alors, ses parties résistant davantage à leur séparation, un mobile perdrait plus vîte son mouvement dans ce fluide-là que dans l'autre.

Il ne suffit donc pas pour estimer la résistance des milieux de faire attention à leur densité; il faut encore faire entrer en ligne de compte leur viscosité. Enfin il faut combiner tout cela avec l'état de repos ou de mouvement du milieu lui-même; et, dans ce dernier cas, voir dans quel sens et avec quelle vîtesse il se meut.

§. 242. Mais si la figure d'un mobile est telle qu'il ait plus de surface d'un côté que de l'autre, il est bien clair que s'il se meut dans un milieu donné de manière à ce que sa plus grande surface marche la première, il devra déplacer dans ce cas un plus grand nombre de particules que si sa petite surface était en avant;

et perdre ainsi plus vîte son mouvement.

§. 243. La même chose aurait lieu si le mobile était concave d'un côté, et convexe de l'autre, et qu'il marchât dans le sens de sa concavité; car alors les particules du milieu, séjournant dans la concavité du mobile, lui feraient perdre davantage de son mouvement.

§. 244. Toutes choses étant d'ailleurs égales, plus un corps en mouvement, dans un milieu donné, aura de volume, plus il aura aussi de surface, et devant déplacer alors, à chaque instant, un plus grand nombre de particules, il perdra davantage de son mouvement.

§. 245. Enfin, plus un mobile aura de vîtesse en commençant à se mouvoir, et plus l'espace qu'il parcourra dans un tems donné sera grand; il déplacera donc encore un plus grand nombre de particules et perdra davantage de son mouvement; ensorte qu'il ne conservera point sur un mobile semblable, mais dont la vîtesse initiale sera plus petite, l'avantage qu'il avait d'abord sur lui. Ainsi l'air, par exemple, ne permet aux balles et aux boulets qu'une cer-[illegible]e vîtesse, et détruit tout le surplus; ensorte [illegible] serait inutile de vouloir charger les armes d'une quantité de poudre surabondante.

[illegible]246. Il faut donc pour es[illegible]timer la résistance [illegible]ilieux, faire attention [illegible] à leur densité, à

leur viscosité, à la figure du mobile, au sens dans lequel il se meut, à son volume et à sa vîtesse initiale.

Mais comme on n'est obligé de faire toutes ces considérations que pour en conclure, en quelque sorte, la quantité de matière que le mobile doit déplacer dans son cours, et la déperdition de mouvement qui en doit résulter pour lui; on voit qu'il faut encore, pour pouvoir faire cette évaluation, savoir d'après quels principes un corps qui en choque d'autres perd du mouvement et leur en communique. C'est ce que nous pourrons découvrir en continuant de rechercher les lois du mouvement.

Du reste, comme le frottement a son utilité, la résistance des milieux a aussi la sienne. Elle fournit des points d'appui aux rames des bateliers, aux nageoires des poissons, aux aîles des oiseaux, etc.

§. 247. Les corps ayant, comme nous l'avons dit, une tendance à persévérer dans leur état de repos ou de mouvement, il s'en suit qu'un corps une fois mis en mouvement par une force non accélératrice, doit continuer à se mouvoir avec la même vîtesse, et en suivant une ligne droite, tant qu'il ne rencontrera sur sa route aucun des obstacles dont nous avons parlé, et qu'aucune force nouvelle n'agira sur lui.

§. 248. Ainsi donc, si un mobile décrit une ligne courbe, il en faut conclure qu'il est sans cesse détourné de sa route par une cause capable de produire cet effet. Mais, dans ce cas-là même, il tend toujours à reprendre la ligne droite ; et c'est cette ligne droite qu'un mobile décrit, ou tend à décrire, que l'on nomme sa *direction*.

Cette même ligne droite, rapportée à la force en vertu de laquelle on considère que le mobile tend à la décrire, s'appelle aussi la *direction* de cette force.

§. 249. « La direction du mouvement en ligne droite, suit évidemment de ce qu'il n'y a aucune raison pour que le mobile s'écarte plutôt à droite qu'à gauche de sa direction primitive ; mais l'uniformité de son mouvement n'est pas de la même évidence. La nature de la force motrice étant inconnue, il est impossible de savoir *à priori* si cette force doit se conserver sans cesse. A la vérité, un corps étant incapable de se donner aucun mouvement à lui-même, il paraît également incapable d'altérer celui qu'il a reçu ; ensorte que la loi d'inertie est au moins la plus naturelle et la plus simple que l'on puisse imaginer. Elle est d'ailleurs confirmée par l'expérience ; en effet, nous observons sur la terre, que les mouvemens se perpétuent

plus longtems, à mesure que les obstacles qui s'y opposent viennent à diminuer; ce qui nous porte à croire que, sans ces obstacles, ils dureraient toujours. Mais l'inertie de la matière est principalement remarquable dans les mouvemens célestes, qui, depuis un grand nombre de siècles, n'ont point éprouvé d'altération sensible. Ainsi, nous regarderons l'inertie comme une loi de la nature, et lorsque nous observerons de l'altération dans le mouvement d'un corps, nous supposerons qu'elle est due à l'action d'une cause étrangère „ (1).

§. 250. Les forces étant susceptibles de plus et de moins sont donc des quantités, qui peuvent être comparées entr'elles comme d'autres quantités.

Ainsi, si nous avons une force double d'une autre force, nous pourrons dire que la première est à la seconde comme le nombre 2 est au nombre 1, ou comme une ligne droite de deux décimètres est à une ligne droite d'un décimètre, ou comme une ligne droite de deux centimètres est à une ligne droite d'un centimètre, ou, en général, comme une ligne double d'une autre est à cette autre ligne.

---

(1) Ce paragraphe est tiré de l'*Exposition du Système du Monde*, par La Place. —— Voyez comment Dalembert démontre la loi dont il s'agit ici dans son *Traité de Dynamique*.

Si nous représentons donc par le nombre 1 la plus petite de ces deux forces, l'autre sera représentée par le nombre 2; ou si nous représentons celle-là par une certaine ligne droite, celle-ci sera représentée par une ligne double.

Les lignes seront donc très-propres à représenter non-seulement la direction d'une force, mais encore le degré de cette force, ou sa quantité; et même nous pourrons prendre la ligne pour la force.

Si nous disons donc que le mobile A (fig. 24) est sollicité par la force AC, et que le mobile B est sollicité par la force BD, qui fait un angle avec la première, cela voudra dire :

1°. Que le mobile A se meut, ou tend à se mouvoir, dans la direction de la ligne AC; tandis que le mobile B se meut, ou tend à se mouvoir, dans la direction de la ligne BD.

Mais cela ne voudra point dire que le premier doit s'arrêter en C et le second en D; au contraire, en vertu de la loi d'inertie, ces corps doivent se mouvoir constamment dans ce sens, si rien ne s'y oppose d'ailleurs. Voilà pour la direction.

2°. Quant à la force : cela voudra dire que la force qui sollicite A est à la force qui sollicite B, comme AC est à BD. Ensorte que si

BD est les $\frac{2}{3}$ de AC, la seconde force sera les $\frac{2}{3}$ de la première.

C'est-à-dire encore que, puisque les forces sont comme les vîtesses (§. 230), et que les vîtesses, dans un même tems, sont comme les espaces (§. 219), cela voudra dire que A parcourra AC dans le même tems que B parcourra BD. La vîtesse de B ne sera donc que les $\frac{2}{3}$ de celle de A. Voilà pour la force.

§. 251. Il est bien clair d'ailleurs que si deux ou plusieurs forces agissent sur un mobile dans le même sens elles s'ajoutent l'une à l'autre; et que si elles agissent en sens contraire, le mobile ne peut se mouvoir qu'en vertu de leur différence; de manière qu'il y aurait équilibre et repos si cette différence était nulle, ou si les forces opposées étaient égales (§. 14).

Quand plusieurs forces agissent ainsi sur un mobile, soit dans le même sens, soit en sens contraire, on peut cependant considérer ce mobile comme n'étant sollicité que par une seule et unique force, qui est égale à la somme des forces qui agissent dans le même sens, et à la différence de celles qui agissent en sens contraire.

§. 252. Si un mobile est sollicité en même tems par deux forces qui fassent un angle entr'elles, il prend alors une direction moyenne,

que nous allons examiner ; mais nous devons avant tout définir quelques termes que nous serons forcés d'employer.

§. 253. « Lorsque deux lignes droites P M, R M, (fig. 25), se rencontrent, la quantité plus ou moins grande dont elles sont écartées l'une de l'autre s'appelle *angle ;* le point de rencontre ou d'intersection M est le *sommet* de l'angle; les lignes P M, R M, en sont les *côtés.* "

« L'angle se désigne quelquefois par la lettre du sommet M seulement, d'autres fois par trois lettres P M R ou R M P, ayant soin de mettre la lettre du sommet au milieu. „

§. 254. « Lorsque la ligne droite B P rencontre une autre ligne A F, de telle sorte que les angles adjacens A M B, B M F, soient égaux entr'eux, chacun de ces angles s'appelle un *angle droit*, et la ligne B P est dite *perpendiculaire* sur C D. ".

§. 255. " Tout angle P M R plus petit qu'un angle droit est un *angle aigu ;* tout angle plus grand A M R est un *angle obtus.* " (1)

§. 256. Deux lignes A F, P R sont dites *parallèles*, lorsqu'étant tracées sur une même surface plane, comme sur une feuille de papier, elles sont par tout à égale distance l'une de autre.

---

(1) Legendre, Elémens de Géométrie

§. 257. Une figure de quatre côtés PMFR, qui a ses angles droits sans avoir tous ses côtés égaux, se nomme *rectangle* ou *carrë long;* et la ligne MR qui va d'un angle à l'autre se nomme *diagonale.*

On démontre que les côtés opposés PM, RF, ou MF, PR, d'un rectangle, sont égaux et parallèles.

§. 258. Une figure de quatre côtés PMFR, fig. 26, ou fig. 27, que l'on suppose avoir ses côtés opposés PM, FR, ou MF, PR, parallèles, s'appelle un *parallélogramme;* et la ligne MR, qui va d'un angle à l'autre s'appelle aussi *diagonale.*

On démontre que les côtés opposés dans le parallélogramme sont égaux.

§. 259. Cela posé, imaginons qu'un mobile M, (fig. 25), soit sollicité en même tems par les deux forces MF, MP, dont les directions se croisent à angle droit, et dont l'énergie est telle que la première, si elle agissait seule, pourrait porter le mobile de M en F, dans le même tems que la seconde, si elle agissait aussi seule, pourrait porter le même mobile de M en P; et recherchons quel devra être le mouvement du corps M.

Si la force MF agissait seule son effet se réduirait à écarter le mobile M de la ligne BP

de toute la quantité MF, dans une seconde de tems, par exemple; mais elle ne pourrait porter ce mobile, ni vers B, ni vers P, puisque la direction MF est perpendiculaire sur BP, et que, par conséquent, cette ligne MF ne penche ni vers B, ni vers P, (§. 254).

Par la même raison, si la force MP agissait seule sur le mobile, son effet se réduirait à écarter le mobile M de la ligne AF de toute la quantité MP, aussi dans une seconde de tems; mais elle ne pourrait porter ce mobile ni vers A, ni vers F, puisque la direction MP est perpendiculaire sur AF, et que, par conséquent, cette ligne MP ne penche pas plus vers A que vers F.

Il en résulte que les deux forces MF, MP, agissant ensemble sur le mobile, ne se contrarieront point dans l'effet qu'elles doivent produire sur lui; c'est-à-dire 1°. qu'en vertu de la première force, le mobile, dans une seconde de tems, s'écartera de la ligne BP, d'une quantité, qui, si elle n'est pas MF, lui sera du moins égale; car la force MP ne pouvant porter le mobile ni vers A, ni vers F, ne diminuera [illegible] n'augmentera la force MF; c'est-à-[illegible] qu'en vertu de la seconde force MP, [illegible], dans une seconde de tems, s'écar[illegible] la ligne AF, d'une quantité qui, si elle n'est

n'est pas MP, lui sera du moins égale; car la force MF ne pouvant porter le mobile ni vers B ni vers P, ne diminuera ni n'augmentera la force MP.

Le mobile, au bout d'une seconde, sera donc quelque part sur la ligne FR, dont tous les points sont également distans de la ligne MP, à laquelle on la suppose parallèle, et quelque part sur la ligne PR, dont tous les points sont également distans de la ligne MF, à laquelle on la suppose aussi parallèle, (§. 256). Il sera donc en R, point d'intersection des lignes FR, PR.

Mais du moment où les deux forces ont agi sur le mobile M, celui-ci ayant été abandonné à lui-même, n'a pu décrire qu'une ligne droite, (§. 247). C'est donc par une ligne droite qu'il est venu du point M au point R. Il a donc décrit la ligne MR, ou la diagonale du rectangle PMFR, construit sur les deux forces MF, MP, (1); et il continuera à se mouvoir dans cette direction, tant que rien ne s'y opposera (§. 247).

§. 260. Donc un mobile sollicité en même

(1) On dit qu'un rectangle MFRP (fig. 25) est construit sur les lignes MF, MP, quand il a ces deux lignes pour côtés contigus. Il en serait de même d'un parallélogramme.

tems par deux forces non accélératrices, qui se croisent à angle droit, décrit, d'un mouvement uniforme, la diagonale du rectangle construit sur les lignes qui expriment les deux forces, et cela dans le même tems qu'il aurait décrit l'un ou l'autre des côtés du rectangle, s'il n'eût été mû que par une des forces séparément.

§. 261. Il est donc bien évident qu'on peut considérer le mobile M comme n'étant sollicité que par une force unique, dont MR représente la direction et la quantité.

Cette force, ou la ligne MR qui la représente, s'appelle la *résultante* des deux forces MF, MP; qu'on nomme alors *forces composantes.*

§. 262. Mais si on peut toujours substituer une résultante à deux forces composantes, on pourra toujours aussi considérer une force unique comme la résultante de deux forces com-
es, qu'on sera maître de substituer à la
que.

temple, si le mobile M est sollicité par
orce unique MR, on pourra l'envisager
licité par les deux forces MF, MP,
ent à angle droit, et qui sont les
ctangle dont MR est la diagonale.
mobile M (fig. 26 et 27) étant
ême tems par les deux forces non

accélératrices MF, MP, dont les directions se croisent à angle aigu ou à angle obtus, et dont le rapport est tel que la première, si elle agissait seule, pourrait porter le mobile de M en F dans une seconde de tems, par exemple, et que la seconde, si elle agissait seule, pourrait porter le mobile de M en P, aussi dans une seconde de tems, on demande quel sera le mouvement du mobile; toujours en supposant écartés tous les obstacles au mouvement.

§. 264. Les forces ne formant point un angle droit, on ne peut construire sur elles un rectangle, mais on peut les prendre pour côtés d'un parallélogramme PMFR; et comme la résultante des forces qui forment un angle droit est la diagonale du rectangle construit sur elles, on peut présumer que la résultante de celles qui forment un angle aigu, ou un angle obtus, doit être aussi la diagonale MR du parallélogramme PMFR (fig. 26, 27), dont ces forces sont les côtés contigus.

§. 265. Si l'on cherche à vérifier cette conjecture, voici ce qu'on trouvera :

Ayant d'abord construit le parallélogramme des forces, c'est-à-dire le parallélogramme PMFR, (fig. 26, 27), et tracé la diagonale MR, on verra que si on mène AB perpendiculaire à MR, puis, des points F et P, les

lignes FB, PA, perpendiculaires à AB, et les lignes FD, PC, perpendiculaires à MR, ou à son prolongement, on aura deux rectangles MDFB, MCPA, dont les forces MF, MP seront les diagonales.

On pourra donc substituer à la force MF les deux nouvelles forces MD, MB, (§. 262), et à la force MP les deux nouvelles forces MC, MA.

Il reviendra donc au même que le mobile M soit sollicité par les deux forces MF, MP, ou par les quatre forces MP, MB, MC, MA.

Mais MB est égale à DF, et MA est égale à PC, (§. 257). D'ailleurs, on démontre par la géométrie que DF est égale à PC. Donc les quatre lignes MB, DF, PC, MA, sont égales. Donc les deux forces MB, MA, qui sont égales et parfaitement opposées, se détruisent (§ 251), et on peut considérer le mobile M comme étant seulement sollicité par les deux forces MD, MC, qui doivent s'ajouter l'une à l'autre quand l'angle est aigu (fig. 26), et se retrancher l'une de l'autre quand l'angle est obtus (fig. 27.) (§. 251).

Or, comme on démontre par la géométrie que, dans les deux figures, MC est égale à DR, il en résulte que MD plus MC (fig. 26) égale MD plus DR, ou MR; et que MD

moins MC (fig. 27) égale MD moins DR, ou MR.

§. 266. Donc un mobile sollicité en même tems par deux forces non accélératrices, qui se croisent sous un angle aigu ou obtus, décrit, d'un mouvement uniforme, la diagonale du parallélogramme construit sur les lignes qui expriment les deux forces, et cela dans le même tems qu'il aurait décrit l'un ou l'autre des côtés du parallélogramme s'il n'eût été mû que par une des forces séparément.

§. 267. Donc un mobile sollicité en même tems par deux forces non accélératrices, qui se croisent sous un angle quelconque, droit, aigu ou obtus, (§. 260, 266), décrit, d'un mouvement uniforme, la diagonale du rectangle ou du parallélogramme construit sur les lignes qui expriment les deux forces, et cela dans le même tems qu'il aurait décrit l'un ou l'autre des côtés du rectangle ou du parallélogramme s'il n'eût été mû que par une des forces séparément.

§. 268. Maintenant il est bien clair que si le mobile était sollicité par 3, 4, 5, etc. forces, agissant dans un même plan (§. 256), on trouverait la résultante de toutes ces forces en prenant d'abord la résultante de deux forces, et la combinant, comme si c'était une force

unique (§. 262), avec une troisième, pour trouver leur nouvelle résultante, et ainsi de suite.

Cela fait, si on oppose aux forces données une force unique, égale à leur dernière résultante, et qui agisse en sens contraire de celle-ci, cette force unique tiendra en équilibre toutes les forces données.

§ 269. Si un mobile est sollicité par plus de deux forces, qui ne soient pas dans un même plan, on pourra encore, en partant des principes que nous avons posés, trouver la résultante de ces forces.

§. 270. On peut donc considérer un mobile, sollicité par tant de forces qu'on voudra, comme n'étant sollicité que par une force unique, égale à la résultante de toutes les forces données. Et, réciproquement, on peut considérer un mobile, qui n'est sollicité que par une force unique, comme s'il l'était par tant de forces qu'on voudra, pourvu qu'elles soient telles que la force unique soit égale à leur résultante.

L'opération par laquelle on met une résultante à la place de plusieurs forces composantes, s'appelle la *composition des forces;* et l'opération par laquelle on met plusieurs forces à la place d'une force unique, que l'on considère comme leur résultante, s'appelle la *décomposition des forces.*

§. 271. Du reste, on nomme *mouvement simple*, celui d'un corps qui n'est sollicité que par une seule force, ou par plusieurs forces qui agissent dans le même sens, ou en sens contraire, mais sans faire d'angles entr'elles ; et on nomme *mouvement composé*, celui d'un corps qui est sollicité par plusieurs forces qui font entr'elles un ou plusieurs angles.

§. 272. Voyons, maintenant, ce qui doit arriver à un corps en mouvement, qui rencontre d'autres corps sur sa route; et supposons d'abord que notre mobile vienne à rencontrer un obstacle invincible.

On comprendra facilement que les résultats de cette rencontre pourront varier suivant la figure du mobile et de l'obstacle, suivant leur dureté, leur molesse, ou leur élasticité, et suivant la direction du choc.

§. 273. Imaginons donc qu'un corps sphérique et dur, représenté en M (fig. 28), se meuve dans la direction MNO, perpendiculaire au plan PL, lequel est supposé inébranlable et parfaitement dur, et que ce corps M se meuve ainsi en vertu d'une force non accélératrice (1), capable de lui faire parcourir MN

(1) Nous ne supposons point que le mobile tombe en obéissant à la pesanteur.

dans une minute de tems ; il est clair que parvenu en N dans la première minute, il aurait parcouru NO égale à MN dans la seconde minute, s'il n'eût rencontré ni le plan PL ni aucun autre obstacle ; et qu'il aurait même continué à se mouvoir uniformément, et dans la même direction, tant qu'aucune cause nouvelle n'aurait agi sur lui, (§. 247).

Mais le plan PL étant inébranlable et dur, il s'opposera invinciblement au passage du mobile, et celui-ci n'étant point élastique, il ne pourra réjaillir sur le plan. D'ailleurs la force NO étant perpendiculaire sur PL, et ne penchant ni d'un côté ni de l'autre, ne pourra porter le mobile ni vers P ni vers L. Celui-ci s'arrêtera donc en N, contre le plan, et perdra là tout son mouvement.

§. 274. Si le mobile M, au lieu d'être dur, était supposé mou, on voit bien que les choses se passeraient de la même manière, excepté que le mobile s'applatirait contre l'obstacle, en s'efforçant de passer outre. Cet applatissement serait donc proportionnel à l'effort dont le mobile serait capable en raison de sa masse, de sa vîtesse, et du tems qu'il agirait contre le plan.

§. 275. Enfin, si le mobile était élastique, il s'applatirait d'abord comme le corps mou,

jusques à ce qu'il eut perdu tout son mouvement; mais en reprenant sa première figure et son premier volume, en raison de son élasticité, ses parties s'éloigneraient pendant ce temslà du plan, comme elles s'en étaient rapprochées pendant l'applatissement, et le corps reprendrait ainsi, en sens contraire, tout le mouvement qu'il aurait perdu contre le plan; c'est-à-dire qu'il retournerait de N en M, en suivant la perpendiculaire au plan PL, et cela avec le degré de vîtesse qu'il avait avant le choc. Il continuerait donc alors à se mouvoir uniformément dans la direction NM, tant qu'aucune cause nouvelle n'agirait sur lui; et l'on dirait que le mobile s'est *réfléchi* contre le plan PL.

§. 276. Supposons actuellement qu'un corps dur et sphérique, M (fig. 29), soit sollicité, dans la direction MNO, oblique au plan PL, que nous supposons toujours inébranlable et dur, par une force non accélératrice, capable de lui faire parcourir MN dans une minute de tems; il est clair que, parvenu en N dans la première minute, il aurait parcouru NO, égale à MN, dans la seconde minute, s'il n'eût rencontré ni le plan PL ni aucun autre obstacle, et qu'il aurait même continué à se mouvoir uniformément, et dans la même direction,

ant qu'aucune cause nouvelle n'aurait agi sur ui.

Mais le plan PL étant inébranlable et dur, l s'opposera invinciblement au passage du mobile, et celui-ci, n'étant point élastique, il ne pourra réjaillir sur le plan. Cependant la force NO étant oblique au plan pourra être décomposée en deux forces NA, NB, dont l'une sera perpendiculaire au plan, et l'autre lui sera parallèle. Alors le plan détruisant entièrement la force NA qui lui est perpendiculaire, et ne pouvant rien changer à la force NB, qui lui est parallèle, le mobile, après le choc, glissera sur le plan, dans la direction NL, en décrivant dans chaque minute un espace égal à NB; si l'on fait du moins abstraction du frottement qui aura lieu entre le mobile et le plan.

§. 277. Si le mobile M, au lieu d'être dur, était supposé mou, on voit bien que les choses se passeraient de la même manière, excepté que le mobile s'applatirait contre le plan, tant qu'il lui resterait encore quelque chose de la force perpendiculaire NA.

§. 278. Enfin, si le mobile était élastique, (fig. 30), il s'applatirait d'abord comme le corps mou, jusques à ce qu'il eût perdu toute sa force perpendiculaire NA; mais en reprenant sa première figure, il reprendrait une

force perpendiculaire NC, égale et parfaitement opposée à la force NA qu'il aurait perdue en s'applatissant, et cette force NC, se combinant avec la force NB que le plan n'aurait pu détruire, le mobile se réfléchirait en suivant ND, et parcourrait cette ligne dans une minute, pour continuer son mouvement dans cette direction, tant qu'aucune cause nouvelle n'agirait sur lui.

§. 279. Il faut remarquer ici que l'angle PNM, formé par le plan et la première direction du mobile, et que l'on nomme *angle d'incidence*, est égal à l'angle LND, formé par le plan et la seconde direction du mobile, et que l'on nomme *angle de réflexion;* car on démontre en géométrie que PNM égale LNO, et que LNO égale LND.

La loi du mouvement réfléchi est donc que *l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence.*

C'est là le principe du jeu de paume et du jeu de billard.

§. 280. La réflexion aurait aussi lieu, et de la même manière, si le mobile était dur et que le plan fut élastique.

§. 281. Mais si, le mobile étant dur, le plan se trouvait mou, alors le mobile pénétrerait plus ou moins dans l'obstacle, qui deviendrait ainsi pour lui un nouveau milieu.

Cette observation nous conduit à rechercher ce qui doit arriver à un mobile qui passe d'un milieu dans un autre, plus dense ou plus rare que le premier.

§. 282. L'expérience et le raisonnement prouvent qu'en général, si un mobile M (fig. 31) passe obliquement d'un milieu plus rare, comme l'air, dans un milieu plus dense, comme l'eau, il change de direction, au moment même où il entre dans le milieu le plus dense, et qu'il s'écarte de la ligne perpendiculaire à la surface de ce milieu, au point d'immersion.

Par exemple, si le mobile a parcouru MN dans le milieu le plus rare, au lieu de parcourir NO, prolongement de MN, dans le milieu le plus dense, il parcourra quelque ligne NT, qui s'éloignera plus que NO de la ligne PR, perpendiculaire à la surface SF, au point d'immersion N.

§. 283. Le contraire arrivera si le mobile passe obliquement du milieu le plus dense dans le milieu le plus rare; c'est-à-dire qu'alors il se rapprochera en général de la perpendiculaire, dans le milieu le plus rare.

§. 284. Ce changement de direction d'un mobile qui passe obliquement d'un milieu dans un autre, se nomme *réfraction*, parce que l'on considère le cours du mobile comme ayant été

rompu ou brisé dans la ligne qui sépare les milieux.

§. 285. Notre plan ne nous permet pas d'entrer dans de plus grands détails à cet égard, et il nous suffit d'avoir indiqué le principe général de cette réfraction.

Cependant, on se fera une idée de ce qui la produit, si l'on fait attention que dans le moment où le mobile M (fig. 32) rencontre obliquement la surface S F du milieu le plus dense, sa partie *b* trouve plus de résistance que sa partie *a*, et que le mobile doit se porter du côté vers lequel il éprouve le moins de résistance.

Si le milieu inférieur à S F était le plus rare, alors, dans le moment de l'immersion, la partie *b* éprouverait moins de résistance que la partie *a*, et, par conséquent, la réfraction se ferait du côté *b*.

§. 286. Observons, 1°. Que l'incidence peut devenir tellement oblique que la réfraction se change en réflexion.

Ainsi quand on pense tirer un coup de fusil dans l'eau, si l'incidence est trop oblique, la balle peut se réfléchir vers l'autre bord.

C'est là aussi le principe des ricochets.

§. 287. Observons, 2°. Que si le passage du mobile d'un milieu dans un autre n'est point oblique à la ligne ou au plan qui sépare les

même vîtesse, et qu'on les eût supposés en contact, ils auraient continué de se mouvoir ensemble, sans que l'un put augmenter ni diminuer la vîtesse de l'autre.

§. 295. Ainsi donc, une partie de la différence des vîtesses primitives passe au corps choqué; mais le corps choquant retient aussi une partie de cette différence, car sans cela il aurait alors moins de vîtesse que le corps choqué.

§. 296. Pour savoir quelle sera la vîtesse commune après le choc, il suffit de savoir quelle sera la vîtesse d'un des deux corps, (§. 293); par exemple, ce qui restera de vîtesse au corps choquant.

§. 297. Mais pour savoir ce qui restera de vîtesse au corps choquant il n'y a qu'à calculer quelle vîtesse lui enlèvera le corps choqué.

§. 298. Or ce n'est qu'une portion de la différence des vîtesses primitives que le corps choqué peut enlever, (§. 294); et une portion déterminée par la masse que ce corps choqué a rélativement à la masse totale; car ce n'est qu'en vertu de cette masse qu'il résiste au mouvement et détruit une portion de celui du corps choquant.

§. 299. Il faudra donc, pour connaître quelle doit être la vîtesse commune après le choc.

1°. Calculer

1°. Calculer la différence des vîtesses avant le choc, (§. 294).

2°. En prendre une partie semblable à la portion de la masse totale que le corps choqué possède, (§. 298).

3°. Retrancher cette quantité trouvée de la vîtesse primitive du corps choquant, (§. 296, 297).

On aura ainsi la vîtesse commune après le choc (1).

§. 300. Par exemple, le corps choquant pesant 4 hectogrammes et parcourant 6 mètres par seconde, pendant que le corps choqué ne pèse que 2 hectogrammes et ne parcourt que

(1) La règle que donnent les mathématiciens est celle-ci : *Pour avoir la vîtesse après le choc, il faut prendre la somme des quantités de mouvement que les corps avaient avant le choc et la diviser par la somme des masses.*

Or ceux qui entendent un peu les mathématiques verront facilement que notre règle revient à celle-là; car nommant m la masse du corps choquant et v sa vîtesse primitive, m' la masse du corps choqué et v' sa vîtesse primitive, on aura $m + m'$ pour la masse totale, $\frac{m'}{m + m'}$, pour la portion de cette masse qui appartient au corps choqué, et $v - v'$ pour la différence des vîtesses primitives; ensorte que notre règle donnera pour la vîtesse commune après le choc, que l'on pourra appeler x : ... $x = v - \frac{m'(v - v')}{m + m'}$; d'où l'on tirera d'abord : $x = \frac{mv + m'v'}{m + m'}$.

3 mètres par seconde, on demande quelle sera la vîtesse commune après le choc.

Pour la trouver on calculera d'abord la différence des vîtesses primitives, qui est 6 moins 3, ou 3; puis on prendra le tiers de cette différence, parce que le corps choqué n'est que le tiers de la masse totale; enfin on retranchera ce tiers, ou 1, de la vîtesse primitive 6 du corps choquant; et il restera 5 pour la vîtesse commune après le choc.

§. 301. Si c'est le corps choqué qui a le double de masse, ou qui est les deux tiers de la masse totale, tout le reste étant comme dans le cas précédent, alors on prendra les $\frac{2}{3}$ de la différence 3 des vîtesses, c'est-à-dire 2, on retranchera ce nombre de la vîtesse primitive 6 du corps choquant, et on aura 4 pour la vîtesse commune.

§. 302. Si la masse du choquant est 10, et celle du choqué 7, la masse totale sera 17 et le corps choqué aura $\frac{7}{17}$ de cette masse. Si la vîtesse du choquant est alors 22, et celle du choqué 13, la différence des vîtesses sera par conséquent de 9, dont on prendra les $\frac{7}{17}$, ou $3\frac{12}{17}$, pour les retrancher de 22, et trouver ainsi la vîtesse commune de $18\frac{5}{17}$.

§. 303. Si les deux masses étaient égales, que le corps choquant eût 6 de vîtesse, et que le

corps choqué fut en repos, la masse totale serait 2, dont le corps choqué serait la moitié; on prendrait donc la moitié de la différence des vîtesses, où la moitié de *six moins zéro*, ou la moitié de 6, c'est-à-dire 3, que l'on retrancherait de 6, vîtesse du corps choquant, et l'on aurait 3 pour la vîtesse commune; ce qu'il était facile de prévoir.

§. 304. Si le corps choquant avait une masse double, avec 6 de vîtesse, et que le corps choqué, avec une masse simple, fût en repos, la somme des masses serait 3, dont le corps choqué ne serait que le $\frac{1}{3}$, on prendrait donc le $\frac{1}{3}$ de la différence des vîtesses, ou le $\frac{1}{3}$ de 6, c'est-à-dire 2, que l'on retrancherait de 6, vîtesse primitive du corps choquant, et l'on aurait 4 pour la vîtesse commune après le choc.

§. 305. Si c'était le corps choqué qui eût une masse double, et le reste comme dans le cas précédent, on trouverait 2 pour la vîtesse commune après le choc.

§. 306. Si les deux mobiles, au lieu de marcher dans le même sens, venaient au-devant l'un de l'autre, il est bien clair que celui qui serait capable du plus grand effort, ou, en d'autres termes, celui qui aurait le plus de *quantité de mouvement* (§. 231), transporterait l'autre, et prendrait le nom de *corps choquant*.

§. 307. Or si nous observons que ce cas ne diffère des précédens, qu'en ce que le corps choqué vient au-devant du corps choquant, nous pourrons en conclure que toute la différence qu'il doit y avoir dans le calcul consistera à prendre la vîtesse du corps choqué en sens contraire de ce qu'on l'avait prise; c'est-à-dire qu'au lieu de la retrancher de celle du corps choquant, pour avoir la différence des vîtesses, il faudra l'ajouter à celle du corps choquant, pour avoir la somme des vîtesses, et suivre du reste la règle du § 299.

§. 308. Ainsi donc, pour trouver, dans ce cas, la vîtesse commune après le choc, il faudrait :

1°. Faire la somme des vîtesses avant le choc.

2°. En prendre une partie semblable à la portion de la masse totale que le corps choqué possède.

3°. Retrancher cette quantité de la vîtesse primitive du corps choquant.

§. 309. Par exemple, si les deux corps ont la même masse et la même vîtesse, la somme des vîtesses sera 2, et la somme des masses aussi 2, dont le corps choqué aura la moitié. On prendra donc la moitié de 2, somme des vîtesses, et on retranchera ce nombre 1 de la vîtesse 1 du corps choquant; et puisqu'il ne

restera rien, on en conclura qu'après le choc les deux corps doivent être en repos; comme on devait s'y attendre.

§. 310. S'ils ont la même vîtesse, et que l'un ait le double de masse, on le considèrera comme le corps choquant (§. 306). La somme des vîtesses sera encore 2, et la somme des masses ou la masse totale 3, dont le corps choqué n'est que le $\frac{1}{3}$. On prendra donc le tiers de 2, somme des vîtesses, et l'on retranchera le nombre $\frac{2}{3}$ du nombre 1 vîtesse du corps choquant, pour avoir le reste $\frac{1}{3}$, vîtesse commune après le choc. C'est-à-dire que les deux corps se mouvront alors, dans le sens du corps choquant, avec une vîtesse trois fois moindre que celle qu'ils avaient avant le choc.

§. 311. S'ils ont la même masse, et que l'un ait le double de vîtesse, celui-ci sera considéré comme le corps choquant, (§. 306). La somme des vîtesses sera 3 et la masse totale 2, dont le corps choqué sera la moitié; on prendra donc la moitié de 3, ou 1 $\frac{1}{2}$, qu'on retranchera du nombre 2, vîtesse primitive du corps choquant, et l'on aura le reste $\frac{1}{2}$ pour la vîtesse commune après le choc.

§. 312. Mais, comme il pourrait arriver que quelques lecteurs n'eussent pas suffisamment senti le vrai de l'observation au moyen de

sera 1 fois 1, ou 1, (§. 231). Au moment du choc celui-ci perdra d'abord tout son mouvement, qui deviendra zéro, (§. 315); et l'autre en perdra autant, c'est-à-dire 1, et n'en aura plus que 1, (§. 315). Divisant alors cette quantité de mouvement 1, qui lui reste, par sa masse qui est 2, on aura $\frac{1}{2}$ pour la seconde partie de la vîtesse du corps choquant, en vertu de laquelle il mouvra le corps choqué, supposé en repos, (§. 315, 316).

Appliquant enfin ici la règle du § 299, nous verrons que la différence des vîtesses est $\frac{1}{2}$ moins zéro, ou $\frac{1}{2}$, et que la masse totale est 3, dont le corps choqué n'est que le $\frac{1}{3}$; on prendra donc le tiers de $\frac{1}{2}$, et l'on retranchera ce nombre $\frac{1}{6}$ de la vîtesse du corps choquant, ou de $\frac{1}{2}$, pour avoir $\frac{2}{6}$, ou $\frac{1}{3}$, vîtesse commune après le choc; comme nous l'avions déja trouvé au §. 310.

§. 318. En résumant tout cela, nous dirons que pour trouver la vîtesse commune après le choc, dans le cas que nous examinons, il faut:

1°. Retrancher de la quantité de mouvement du corps choquant celle du corps choqué, (§. 315, 316, 317).

2°. Diviser le reste par la masse du corps choquant, pour avoir un quotient que nous désignerons par A, (§. 316, 317).

3°. Prendre de ce quotient A une partie B,

semblable à la portion de la masse totale que le corps choqué possède. (§. 316, 317, 299).

4°. Retrancher cette portion B du quotient A, (§. 316, 317, 299).

Ce dernier résultat sera la vîtesse commune après le choc, (§. 316, 317, 299).

§. 319. Cette règle est moins simple que celle du §. 308; mais elle conduit aux mêmes résultats; et les principes sur lesquels elle s'appuie paraîtront sans doute plus évidens à ceux qui commencent.

On pourra s'amuser à faire des applications des deux règles à quelques exemples particuliers, et à vérifier ainsi les résultats les uns par les autres.

§. 320. Du reste, le choc des corps mous présente les mêmes phénomènes que celui des corps durs, excepté que les premiers s'applatissent pendant le choc, tant que les parties du corps choquant et du corps choqué ne se meuvent pas encore avec la même vîtesse.

§. 321. Si nous voulons maintenant passer au choc des corps élastiques, il faudra nous souvenir de ceci, c'est qu'un corps dur qui frappe perpendiculairement un obstacle inébranlable perd tout son mouvement, ou, si l'on veut, toute sa vîtesse, et demeure par conséquent en repos (§. 273); tandis qu'un

corps élastique, après avoir choqué perpendiculairement un obstacle inébranlable, retourne sur ses pas avec une vîtesse égale à celle qu'il avait avant le choc (§. 275).

§. 322. Or supposons que la masse, la vîtesse, et la direction d'un corps dur et d'un corps élastique, venant choquer ainsi perpendiculairement un obstacle invincible, soient les mêmes avant le choc, nous verrons que le dernier perdra par le choc deux fois autant de vîtesse que l'autre; du moins rélativement au sens dans lequel ils se meuvent tous les deux; car le corps dur perdra simplement sa vîtesse primitive, tandis que le corps élastique, après avoir perdu cette même vîtesse, en recevra une égale en sens opposé. Or un gain de vîtesse vers l'occident est vraiment une perte de vîtesse vers l'orient.

Je le répéte donc, un corps élastique perd dans le choc, rélativement à sa direction primitive, deux fois autant de vîtesse qu'il en perdrait s'il était dur.

§. 323. Cela posé, si deux corps élastiques, de masse quelconque, se meuvent dans le même sens, sur la même ligne droite, et avec des vîtesses inégales, celui qui ira le plus vîte rattrapera l'autre, et le choquera; mais quelle sera leur vîtesse après le choc?

Par ce que nous venons de dire, (§. 321, 322), le corps choquant perdra une vîtesse double de celle qu'il perdrait s'il était dur; et, par conséquent, le corps choqué gagnera une vîtesse double de celle qu'il gagnerait s'il était dur; car, dans le moment où les deux corps, en vertu de leur élasticité, reprennent leur figure, qui avait été changée pendant la compression (§. 119.), ils se repoussent mutuellement, en sens opposés, en s'appuyant l'un contre l'autre; et tout comme cette action tend à reporter en arrière le corps choquant, elle tend à chasser en avant le corps choqué; et ce mouvement dans ce sens s'ajoute alors à celui qu'il aurait reçu lors même qu'il eût été dur.

§. 324. On comprend par là que les deux corps élastiques, au lieu de cheminer ensemble après le choc, comme cela arrive aux corps durs, laisseront toujours entr'eux un intervalle, et que si le corps choquant ne rebrousse point toujours, ou ne demeure pas en repos, il ne pourra du moins plus atteindre le corps choqué, qui se mouvra nécessairement plus vîte que lui.

Ceci est évident, car si les corps eussent été durs ils auraient cheminé ensemble; mais, étant élastiques, le corps choquant a perdu

davantage de sa vîtesse que s'il eût été dur, et le corps choqué en a gagné davantage. Donc celui-ci ira toujours plus vîte que l'autre.

§. 325. Pour connaître donc la vîtesse des deux corps après le choc, il faudra :

1°. Calculer ce que l'un aurait perdu, et ce que l'autre aurait gagné s'ils eussent été durs.

2°. Doubler ces résultats.

3°. Retrancher le premier, ainsi doublé, de la vîtesse primitive du corps choquant, et ajouter le second, aussi doublé, à la vîtesse primitive du corps choqué.

§. 326. Alors, si la perte du corps choquant, après avoir été doublée, se trouve égale à sa vîtesse primitive, il demeurera en repos après le choc (1).

§. 327. Si cette perte se trouve plus forte que

---

(1) Ceux qui connaissent un peu les mathématiques trouveront facilement que ce cas aura lieu, en général, toutes les fois que *la masse du corps choqué, sera à la masse du corps choquant, comme la vîtesse du corps choquant, est à cette même vîtesse moins deux fois celle du corps choqué.*

Il résulte de là que si la vîtesse primitive du corps choqué est nulle, ou que ce corps soit supposé en repos avant le choc, le corps choquant ne pourra être en repos après le choc que lorsque les masses seront égales; et que si cette condition a lieu, le corps choquant se trouvera en repos après le choc, quelle que soit d'ailleurs sa vîtesse primitive.

la vîtesse primitive, il rebroussera avec une vîtesse égale à l'excès de sa perte.

§. 328. Enfin si cette perte est moindre que sa vîtesse primitive, il continuera de marcher dans le même sens, avec ce qui lui restera de sa vîtesse primitive. Mais, dans tous les cas, le corps choqué ira en avant plus vîte que le corps choquant, (§. 324).

§. 329. Par exemple, si le corps choquant avait 1 de masse et 3 de vîtesse, et que le corps choqué eût 3 de masse et 1 de vîtesse, on aurait 1 $\frac{1}{2}$ pour la vîtesse commune après le choc, dans le cas des corps durs, (§. 299). Ensorte que le choquant aurait perdu 1 $\frac{1}{2}$ de vîtesse, et que le choqué en aurait gagné $\frac{1}{2}$. Doublant alors ces résultats (§. 325), et retranchant 3, double du premier, de la vîtesse primitive 3 du corps choquant, on aurait zéro pour sa vîtesse après le choc, (§. 326). Ajoutant ensuite 1, double du second résultat, à la vîtesse primitive 1 du corps choqué, on aurait 2 pour sa vîtesse après le choc, (§. 324).

§. 330. Si les deux mobiles ont la même masse, que nous pourrons représenter par 1, que le choqué soit en repos, et que le choquant ait une vîtesse quelconque, que nous pourrons aussi représenter par 1, on aura $\frac{1}{2}$ pour la vîtesse commune après le choc, dans

le cas des corps durs, (§. 299). Ensorte que le choquant aura perdu $\frac{1}{2}$ et que le choqué aura gagné $\frac{1}{2}$. Doublant donc ces résultats (§. 325), et retranchant 1, double du premier, de la vitesse primitive 1 du corps choquant, on aura zéro pour sa vitesse après le choc, (§. 326). Ajoutant ensuite 1, double du second résultat, à la vitesse primitive zéro du corps choqué, on aura 1 pour sa vitesse après le choc, (§. 324).

§. 331. Ensorte que toutes les fois que les masses seront égales, et que le choqué sera en repos, le choquant à son tour demeurera en repos après le choc, toute sa vitesse passant alors au corps choqué. (§. 326. note).

§. 332. Si le corps choquant avait 5 de masse et 6 de vitesse, et que le corps choqué eût 10 de masse et 2 de vitesse, on aurait 3 $\frac{1}{3}$ pour leur vitesse commune après le choc, dans le cas des corps durs, (§. 299). Ensorte que le choquant aurait perdu 2 $\frac{2}{3}$ de sa vitesse primitive, et que le choqué aurait gagné $1\frac{1}{3}$. Doublant donc ces résultats (§. 325), on verrait que le corps choquant doit perdre 5 $\frac{1}{3}$ de vitesse: c'est-à-dire [illegible] vitesse même, qui n'est [illegible] it qu'il doit rebrous[illegible] une vitesse [illegible] tesse 6, (§. [illegible]). Ajoutant ensuite [illegible]

1 $\frac{3}{5}$, double du second résultat, à la vîtesse primitive 2 du corps choqué, on aurait 3 $\frac{3}{5}$ pour sa vîtesse après le choc, (§. 324).

§. 333. Si le corps choquant avait encore 5 de masse et 6 de vîtesse; et que le corps choqué eût encore 20 de masse, mais avec zéro de vîtesse, on aurait 1 $\frac{1}{5}$ pour leur vîtesse commune après le choc, dans le cas des corps durs (§. 299). Ensorte que le choquant aurait perdu 4 $\frac{4}{5}$ de sa vîtesse primitive, et que le choqué aurait gagné 1 $\frac{1}{5}$. Doublant donc ces résultats (§. 325), on verrait que le choquant doit perdre 9 $\frac{3}{5}$ de vîtesse, c'est-à-dire au delà de sa vîtesse même, qui n'est que de 6; ce qui prouverait qu'il doit rebrousser après le choc, avec une vîtesse de 3 $\frac{3}{5}$, excès de 9 $\frac{3}{5}$ sur 6, (§. 327). Ajoutant ensuite 2 $\frac{2}{5}$ à la vîtesse primitive zéro du corps choqué, on aurait 2 $\frac{2}{5}$ pour sa vîtesse après le choc, (§. 324).

§. 334. Si les deux mobiles ont la même masse, et que le choquant ait une vîtesse double du corps choqué, on aura 1 $\frac{1}{2}$ pour leur vîtesse commune après le choc, dans le cas des corps durs, (§. 299). Ensorte que le corps [illegible]nt, qui avait 2 de vîtesse, aura donc [illegible], et que le corps choqué, qui avait 1 [illegible], aura gagné $\frac{1}{2}$. Doublant ces résul[illegible]25), et retranchant 1, double du

premier, de la vîtesse primitive 2 du corps choquant, on aura 1 pour sa vitesse après le choc, (§. 328). Ajoutant ensuite 1, double du second résultat, à la vîtesse primitive 1 du corps choqué, on aura 2 pour sa vîtesse après le choc (§. 324, 328).

§. 335. Si le corps choquant avait 10 de masse et 6 de vîtesse, et que le corps choqué eût 4 de masse et qu'il fut en repos; on aurait 3 $\frac{3}{5}$ pour leur vîtesse commune après le choc, dans le cas des corps durs, (§. 299). Ensorte que le corps choquant aurait perdu 2 $\frac{2}{5}$ de vîtesse, et que le corps choqué en aurait gagné 3 $\frac{3}{5}$. Doublant donc ces résultats (§. 325), et retranchant 4 $\frac{4}{5}$, double du premier, de la vîtesse primitive 6 du corps choquant, on aurait 1 $\frac{1}{5}$ pour sa vîtesse après le choc (§. 328). Ajoutant ensuite 7 $\frac{1}{5}$, double du second résultat, à la vîtesse primitive zéro du corps choqué, on aurait 7 $\frac{1}{5}$ pour sa vîtesse après le choc (§. 324, 328).

§. 336. Si les deux corps viennent au-devant l'un de l'autre, on prendra celui qui aura le plus de quantité de mouvement (§. 306) pour le corps choquant.

Alors, pour trouver la vîtesse des deux corps après le choc, on combinera ensemble les règles des §. 308 et 325; en observant que, dans

ce

ce cas, chacun des mobiles perd, pendant le choc, une partie de sa vîtesse; du moins relativement au sens dans lequel il se mouvait d'abord.

§. 337. Par exemple, si l'un des deux mobiles a 5 de masse avec 6 de vîtesse, et que l'autre ait 7 de masse avec 2 de vîtesse, la quantité de mouvement du premier sera 5 fois 6, ou 30, et celle du second sera 7 fois 2, ou 14, (§. 231); et par conséquent le premier sera le corps choquant, (§. 336).

Cela posé, la règle du §. 308 fera trouver $1 \frac{1}{3}$ pour la vîtesse commune après le choc, dans le cas des corps durs; ensorte que le corps choquant aurait ainsi perdu $4 \frac{2}{3}$ de sa vîtesse primitive. Quant au corps choqué, comme il aurait d'abord perdu toute sa vîtesse primitive, qui était de 2, et qu'il aurait reçu ensuite, en sens contraire, une vîtesse de $1 \frac{1}{3}$, on pourrait le considérer comme ayant perdu $3 \frac{1}{3}$ de vîtesse dans le sens suivant lequel il se mouvait d'abord.

Doublant donc ces résultats (§. 325), on verra 1°. que le corps choquant doit rebrousser avec une vîtesse de $3 \frac{1}{3}$, excès de $9 \frac{1}{3}$, double du premier résultat, sur 6, vîtesse primitive de ce corps-là; on verra 2°. que le corps choqué doit aussi rebrousser avec une vîtesse

de 4 $\frac{2}{3}$, excès de 6 $\frac{2}{3}$, double du second résultat, sur 2, vîtesse primitive du corps choqué.

§. 338. Si les deux corps qui viennent au devant l'un de l'autre, ont la même masse et la même vîtesse, on prendra celui qu'on voudra pour corps choquant, puisque leur quantité de mouvement est la même.

Cela posé, la règle du §. 308 donnera zéro pour la vîtesse commune après le choc, dans le cas des corps durs. Ensorte qu'ils auraient alors perdu l'un et l'autre par le choc toute leur vîtesse primitive, chacun dans son sens.

Doublant donc ces résultats (§. 325), on verra que les deux corps doivent rebrousser après le choc, avec une vîtesse égale à celle qu'ils avaient d'abord; car l'excès d'une vîtesse double sur une vîtesse simple est toujours une vîtesse simple.

Nous allons passer au mouvement des corps soumis à l'action de la pesanteur.

§. 339. Un corps qu'on abandonne à lui-même, près de la surface de la terre, ne reste point en repos ; il tombe ; ou, en d'autres termes, il se meut vers la terre (§. 4. 12. 13. 222.)

Si on le laisse tomber par une fenètre, il suit la direction du mur ; c'est-à-dire que son mouvement est perpendiculaire à la surface de la terre (§. 254).

§. 340. En laissant ainsi tomber au milieu de l'air, et d'une certaine hauteur, des corps de différentes masses, et de différens volumes, on remarquera qu'ils ne tombent pas également vîte. Cependant la pesanteur, qui est ici la force motrice, devant être la même dans chaque particule égale de matière (1), il est évident qu'un certain nombre de particules ne doivent pas, pour cela seulement qu'elles sont réunies, se mouvoir plus vîte qu'une seule particule isolée; tout comme un certain nombre de chevaux de la même force et de la même agilité, ne devront point, pour cela seulement qu'on les aura attelés ensemble, courir plus vîte qu'un seul cheval fournissant sa carrière à part.

§. 341. En réfléchissant à cela on s'apperçoit d'abord que la résistance de l'air est la cause de la différence de vîtesse des corps qui tombent en obéissant à la pesanteur, car cette résistance varie à raison de la figure du mobile,

---

(1) Je parle ici comme si la pesanteur était une propriété intrinséque de la matière. Mais si elle a une cause méchanique et externe, il pourra se trouver une légère différence dans l'effet de cette cause sur des particules égales de matière, suivant leur position respective. On voudra bien étendre cette remarque à tout ce que je dirai de relatif à cet objet.

du sens dans lequel il se meut, et de l'étendue de sa surface (§. 237. 238. 242. 243. 244.).

Aussi l'expérience prouve-t-elle qu'une plume et une pièce de monnaie, par exemple, tombent également vîte dans un long récipient, où l'on a fait le vide au moyen de la pompe pneumatique.

§. 342. Sans la résistance de l'air, un verre d'eau, jeté par une fenètre, pourrait faire beaucoup de mal; soit parce que cette eau ne serait point divisée, soit parce qu'elle tomberait aussi vîte que le corps le plus pesant.

C'est ainsi qu'une certaine quantité d'eau renfermée dans un tube de verre dont on a extrait l'air, mais où il reste du vide, donne contre les parois de ce verre des coups aussi forts et aussi secs que le ferait un corps solide. C'est ce petit appareil que l'on nomme le *marteau physique*.

C'est encore ainsi qu'en renversant doucement un baromètre bien purgé d'air, on entend le mercure frapper à la partie supérieure du tube; ce qu'il ne pourrait faire si par un défaut dans l'instrument il restait de l'air au-dessus du mercure.

§. 343. En faisant donc abstraction de la résistance de l'air, nous pouvons dire que tous les corps tombent également vîte; du moins

quand on les considère comme partant ensemble d'un même lieu, ou de plusieurs lieux également élevés.

§. 344. Mais si la vîtesse de ces corps est la même, leur quantité de mouvement, ou l'effort dont ils seront susceptibles contre un obstacle qu'on leur présentera, sera proportionnel à leur masse, ou à leur quantité de matière (§. 231). Ainsi plusieurs chevaux de même force et de même agilité, étant attelés ensemble, entraîneront avec eux un fardeau plus considérable que ne pourrait le faire un seul cheval, qui courrait cependant aussi vîte qu'eux tous (§. 340).

§. 345. De la même manière, le *moment* de plusieurs corps actuellement en repos, mais qui tendent à se mouvoir en vertu de la pesanteur, ou l'effort qu'ils font contre l'obstacle qui les arrête, ou, en d'autres termes, leur poids absolu (§. 87. 88.), est nécessairement aussi proportionnel à leur masse ou à leur quantité de matière, puisque leur vîtesse virtuelle est la même (§. 232.).

§. 346. Ce n'est pas tout : comme on n'apperçoit pas d'interruption sensible dans l'action de la pesanteur, il est évident qu'elle doit être ou une force constante qui agisse sans aucun relâche, ou du moins une force dont les

intermittences, s'il est permis de s'exprimer ainsi, soient très-petites et inappréciables.

Il résulte de là que la vîtesse des corps qui tombent ne peut être uniforme; mais qu'elle doit être accélérée, et leur fait parcourir en tems égaux des espaces qui aillent en augmentant (§. 221. 223.).

§. 347. Si la pesanteur peut être envisagée comme agissant par petits coups, dans des intervalles de tems insensibles, et que l'on prenne pour unité le chemin que fait un mobile dans le premier instant de sa chûte, en vertu de la première impulsion qu'il a reçue, il est clair que recevant une seconde impulsion au commencement du second instant, il parcourra pendant cet instant-là un espace comme 2; on verra de même que dans le troisième, le quatrième instant, etc., il parcourra des espaces comme 3, 4, etc.

Ensorte que les espaces parcourus en tems égaux; si ces tems ne sont pas plus grands que les intermittences de la pesanteur, ces espaces dis-je, croîtront comme la suite des nombres aturels 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, etc.

ais pour composer de ces petits instans des ervalles de tems un peu sensibles, supposons 'on en doive prendre au moins mille; il dra aussi réunir les mille espaces parcourus

dans ces mille instans, c'est-à-dire qu'il faudra trouver la somme de la *progression excédentive* 1, 2, 3, ... 1000; cette somme sera 1001 × 500 (1).

Dans les mille instans suivans, le mobile parcourra les espaces 1001, 1002, 1003 .... 2000; dont la somme sera 3001 × 500.

Dans les mille instans qui viendront encore après, le mobile parcourra les espaces 2001, 2002, 2003, ... 3000; dont la somme sera 5001 × 500.

Et ainsi de suite.

Ensorte que les espaces parcourus en tems égaux, dans notre supposition, seront entr'eux comme les nombres :

1001 × 500 : 3001 × 500 : 5001 × 500 : etc.
ou ce qui revient au même, il seront entr'eux comme les nombres :

1001 : 3001 : 5001 : etc.

Si au lieu de mille instans, nous supposions qu'il en fallût un million, ou un billion, pour former un espace de tems un peu sensible,

---

(1) On trouve la somme d'une progression de cette espèce en multipliant la somme des extrêmes par la moitié du nombres des termes. (Voyez l'Arithmétique d'Émile, seconde édition.) D'ailleurs ce signe × signifie *multiplié par*.

ce qui serait sans doute beaucoup plus près de la vérité, nous trouverions que les espaces parcourus en tems égaux croîtraient comme la suite des nombres :

1000001 : 3000001 : 5000001 : etc.

ou comme celle des nombres :

1000000001 : 3000000001 : 5000000001 : etc.

En s'arrêtant à cette dernière hypothèse, et négligeant dans chacun de ces nombres l'unité, qui n'est que la billionième partie du premier; on trouvera que les espaces parcourus en tems égaux et appréciables, sont sensiblement entr'eux comme la suite des nombres :

1000000000 : 3000000000 : 5000000000 : etc.

ou plus simplement, en prenant le premier pour unité, comme celle des nombres : 1, 3, 5, 7, etc.

En supposant que le nombre des instans qu'il faut prendre pour former un espace de tems sensible, devienne toujours plus grand, ou ce qui est la même chose, que chaque instant devienne toujours plus petit, l'espace parcouru dans cet instant là ira aussi en diminuant, et nous pourrons toujours mieux négliger sans ...ur sensible l'unité qui termine chacun des ...bres des suites que nous avons considérées. ...'ailleurs il est bien évident que nous ...s rapprocherons ainsi de l'hypothèse dans

laquelle la pesanteur est une force constante.

Mais si en s'approchant sans cesse de cette hypothèse-là, les nombres qui composent nos suites tendent sans cesse à devenir entr'eux comme 1, 3, 5, 7, etc., il en résulte qu'en adoptant en plein l'hypothèse, nous aurons aussi exactement les nombres 1, 3, 5, 7, 9 etc.

Or c'est ainsi que l'on considère la pesanteur, on la représente ordinairement comme une force accélératrice constante, et l'on dit que les espaces parcourus en tems égaux par un mobile soumis à son action croissent comme la suite des nombres impairs : 1, 3, 5, 7, 9, 11, etc.

L'expérience vient aussi à l'appui de ce résultat; mais il est facile de comprendre qu'en raison de l'imperfection de nos sens, de nos instrumens et de nos méthodes, l'expérience ne nous donne jamais que des à-peu-près, et que nous ne pouvons être certains des nombres que nous obtenons de cette manière qu'à un millionième et souvent à un millième près. On pourra étendre cette observation à d'autres cas qui se présenteront par la suite.

§. 348. Si l'on réunit les espaces parcourus ou dans 2, ou dans 3, ou dans 4 instans, etc., on trouvera que l'espace parcouru dans les deux premiers instans est 1 et 3, c'est-à-dire 4,

que l'espace parcouru dans les trois premiers instans est 1, 3 et 5, c'est-à-dire 9; que l'espace parcouru dans les quatre premiers est 1, 3, 5 et 7, c'est-à-dire 16, etc. etc.

On pourra donc former ces deux suites correspondantes;

Nombre des Instans	:	1,	2,	3,	4;	5	, etc.
Espaces parcourus	:	1,	4,	9,	16,	25	, etc.

Par où l'on voit d'abord que si l'on a le nombre des instans, il suffit de multiplier ce nombre par lui-même pour former celui qui doit exprimer l'espace parcouru dans ces instans-là.

Or comme le produit d'un nombre multiplié par lui-même s'appelle le *carré* de ce nombre (1), on peut dire que *les espaces parcourus sont comme les carrés des tems employés à les parcourir.*

§. 349. Ainsi, l'expérience ayant prouvé qu'un corps qui tombe librement, en obéissant à la pesanteur, près de la surface de la terre, parcourt 49 décimètres (15 pieds 0.098) dans la première seconde de sa chûte, il en résulte

(1) *Un* est le carré de *un*, parce que 1 fois 1 fait 1; *quatre* est le carré de *deux*, parce que 2 fois 2 font 4; *neuf* est le carré de *trois*, parce que 3 fois 3 font 9; etc. etc.

qu'il parcourt 196 décimètres dans les deux premières secondes réunies, 441 décimètres dans les trois premières secondes, et ainsi de suite.

§. 350. Comme un corps qui tombe accélère sa vîtesse, un corps qu'on lance en l'air, dans le sens contraire à celui de la pesanteur, retarde sa vîtesse, et parcourt, en tems égaux, des espaces qui décroissent comme la suite des nombres impairs : 11, 9, 7, 5, 3, 1.

§. 351. Ensorte que si la vîtesse qu'on lui communique d'abord est égale à la vîtesse terminale qu'il avait acquise en tombant par l'effet de la pesanteur, il décrira en remontant les mêmes espaces qu'il a décrits en descendant, et il se trouvera sans mouvement quand il sera parvenu au point d'où il était tombé.

§. 352. Si ce mobile était rond et élastique, et qu'en tombant perpendiculairement d'une certaine hauteur, il vint frapper un plan parfaitement dur et parallèle à la surface de la terre, ce plan le renverrait au point même d'où il serait tombé, (§. 275, 273 note. 350. 351.); et se trouvant alors sans mouvement, il redescendrait une seconde fois en obéissant à la pesanteur, puis remonterait pour redescendre encore, et continuerait ainsi sans jamais cesser; en supposant du moins que tout

obstacle au mouvement fût écarté, et e
tres la résistance de l'air.

§. 353. Un corps qui tombe obliquem
la surface de la terre, en roulant, par
ple, sur un plan incliné, accélère s
vîtesse, de manière que les espaces par
croissent encore comme la suite des n
impairs : 1, 3, 5, 7, 9, 11, etc.; du
en faisant abstraction du frottement; ma
vîtesse étant moindre dès le commen
de la chûte est moindre pendant tout l
qu'elle dure.

§. 354. Si le mobile M (fig. 33) se m
long du plan P L incliné à la surface l
de la terre, et que l'on représente par
force de la pesanteur, qui le sollicite à
dre par la perpendiculaire Mdg, on
décomposer cette force Md en deux
Mb, Mc, dont l'une suivra la direct
plan P L, et dont l'autre sera perpend
à cette direction (§. 262.).

Alors, la résistance du plan détruisan
à-fait la force Mc qui lui est perpendic
le mobile n'obéira plus qu'à la force l
il décrira Mb dans le tems même qu'i
décrit Md par une chûte perpendicul
vitesse oblique sera donc à sa vîtesse p
culaire comme la grandeur de la ligne

à la grandeur de la ligne M d; ou comme la hauteur P H du plan incliné est à sa longueur P L (1).

§. 355. Comme un corps qui descend sur un plan incliné accélère sa vîtesse, un corps qu'on oblige à remonter sur un plan incliné, en le lançant de bas en haut, retarde sa vîtesse, et les espaces qu'il parcourt en tems égaux décroissent comme la suite des nombres impairs 11, 9, 7, 5, 3, 1.

§. 356. Ensorte que si la vîtesse qu'on lui communique d'abord est égale à la vîtesse terminale qu'il avait acquise, par l'effet de la pesanteur, en descendant le long du plan incliné, il décrira en remontant sur ce plan les mêmes espaces qu'il a décrits en descendant, et il se trouvera sans mouvement en arrivant au-dessus du plan.

§. 357. Si ce mobile était rond et élastique, et qu'en tombant le long du plan incliné P L il vint frapper la surface plane S F d'un obstacle invincible et dur, placé perpendiculairement à P L, cet obstacle le renverrait jusqu'au

---

(1) Ceux qui ont un peu de géométrie saisiront facilement ce dernier rapport, donné par les triangles Mbd, P H L, qui sont semblables, parce qu'ils ont chacun un angle droit, et que l'angle M de l'un est égal à l'angle correspondant P de l'autre.

dessus du plan incliné, (§. 275. 273 note. 355. 356.); et se trouvant alors sans mouvement, il redescendrait une seconde fois, en obéissant à la pesanteur, puis remonterait pour redescendre encore, et continuerait ainsi sans jamais cesser; en supposant du moins que tout obstacle au mouvement fût écarté, et entr'autres le frottement sur le plan, et la résistance de l'air.

§. 358. Ces principes servent à expliquer les *oscillations* du *pendule;* c'est-à-dire le mouvement d'allée et de venue d'un corps quelconque P, (fig. 34), suspendu librement à un fil ou à une verge CP, et qui décrit des arcs AP, PB, par un mouvement alternatif autour du point de suspension C.

La pesanteur, en faisant effort pour ramener sans cesse le corps P vers le point le plus bas, le tient ordinairement dans la ligne CP, abaissée du point de suspension C perpendiculairement à la surface de la terre; et c'est cette ligne CP qu'on appelle la *verticale*, et qui est indiquée par la direction naturelle du *fil-à-plomb* CP.

retire le corps P de la verticale, et
ui avoir fait décrire l'arc PA on
à lui-même, il redescendra de A
roulant en quelque sorte sur une

espèce de plan incliné, et sa vîtesse s'accélérera pendant sa chûte. Parvenu en P, le mobil tendra, par son inertie, à se mouvoir uniformément, selon la direction qu'il aura dans ce moment-là, et avec la vîtesse qu'il aura acquise, (§. 247. 248.); mais étant forcé de circuler autour du point C, il montera de P en B, avec une vîtesse retardée; après avoir décrit un arc PB, égal à l'arc AP, il aura perdu tout son mouvement, et il commencera alors à redescendre en obéissant à la pesanteur. Ensorte que sans la résistance de l'air, et sans le frottement qui a lieu au point de suspension, le mouvement d'oscillation du pendule ne finirait jamais. Mais l'air et le frottement détruisant peu à peu ce mouvement, les oscillations deviendront de plus en plus petites, et le pendule se retrouvera enfin en repos dans la verticale CP.

§. 359. *Gallilée* étant un jour à l'église, et voyant osciller une lanterne, observa que quoique ses *vibrations*, ou ses *oscillations*, diminuassent constamment d'étendue, elles étaient cependant sensiblement *isochrones*, c'est-à-dire qu'elles s'achevaient en tems égaux. C'est ce qui a lieu en effet, lorsqu'un pendule décrit de petits arcs; et l'on peut appercevoir la raison de ce fait dans la plus grande obliquité

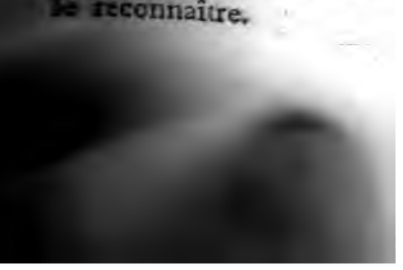
du plan incliné, répondant à un plus grand arc du même pendule, ce qui donne au mobile descendant sur ce plan, une plus grande vitesse, (§. 354.), au moyen de laquelle l'arc plus grand est décrit dans le même tems que l'arc plus petit quand ils sont l'un et l'autre de peu d'étendue.

§. 360. Les oscillations de deux pendules sont donc isochrones, si ces pendules sont de même longueur; mais s'ils ne sont pas de même longueur le plus court fait les vibrations les plus promptes, parce qu'il descend sur un plan plus incliné, comme il est facile de le voir.

§. 361. D'ailleurs c'est l'isochronisme des vibrations du pendule, qui a fait adopter cet appareil pour *régulateur* des horloges.

La communication de l'horloge avec le pendule se fait au moyen de l'échappement, qui est tel que l'horloge ne peut se mouvoir sans le pendule, ensorte qu'elle reçoit de lui l'uniformité du mouvement, et lui rend en échange, par les petites impulsions qu'elle lui donne, la quantité de mouvement que l'air et les frottemens lui enlèvent sans cesse.

§. 362. Le pendule se rencontre plus souvent qu'on ne l'imagine, et il se déguise souvent sous telle ou telle forme qui empêche de le reconnaître.



Qu'on

Qu'on prenne, par exemple, une petite planche, et qu'on la troue vers un de ses angles pour la suspendre à un clou, autour duquel elle puisse librement se mouvoir, cette planche fera aussi des oscillations autour du point où elle est suspendue. Mais il y a dans cette planche un autre point autour duquel on pourrait la mettre en équilibre, et c'est ce point que nous avons appelé le centre de gravité, (§. 18). Si on troue la planche par son centre de gravité, elle n'oscillera plus, et restera en repos dans quelque position qu'on la mette. C'est que le centre de gravité d'un corps est le seul point de ce corps qui ait besoin d'être soutenu pour que ce corps ne tombe pas, (§. 18). C'est ce point qui tend à descendre par l'effet de la pesanteur, c'est celui qu'elle ramène toujours dans la verticale, c'est celui qu'on peut comparer à la lentille P du pendule C P. Or quand le corps est suspendu par son centre de gravité, ce centre ne peut s'écarter de la verticale, et le corps lui-même ne peut osciller; car l'oscillation d'un corps n'est que le passage alternatif de son centre de gravité de la droite à la gauche et de la gauche à la droite de la verticale.

§. 363. Si tous les corps étaient de figure régulière et de nature homogène, leur

centre de gravité se confondrait toujours avec leur centre de figure. Mais ces deux centres ne coïncident pas quand les corps sont irréguliers et hétérogènes.

§ 364. Si la *ligne de direction*, ou la perpendiculaire abaissée du centre de gravité d'un corps à la surface de la terre, passe par la base sur laquelle ce corps repose, il restera debout quelqu'incliné qu'il puisse paraître; mais si la ligne de direction passe au dehors de sa base, alors il tombera du côté vers lequel cette ligne sort de la base.

C'est pourquoi les personnes qui portent des fardeaux sur leur dos se baissent, tandis que celles qui les portent sur leurs bras se renversent plus ou moins, ensorte que la ligne abaissée du centre commun de gravité de leur corps et du fardeau, perpendiculairement à la surface la terre passe toujours par leurs pieds.

C'est encore d'après ce principe que les danseurs de corde règlent les mouvemens de leur corps et du balancier dont ils font usage.

§. 365. Les démonstrateurs pourront expliquer ici la suspension de la lampe de Cardan et de la Boussole marine, et faire voir le cilindre et le double cône qui montent l'un et l'autre sur des plans inclinés; enfin le sauteur

chinois. Nous allons continuer d'observer le mouvement des corps soumis à l'action de la pesanteur.

§. 366. Imaginons qu'un corps pesant, placé en A (fig. 35), soit abandonné à lui-même, et qu'il tombe en décrivant la ligne droite AX perpendiculaire à la surface de la terre; si nous nous représentons la pesanteur comme agissant par petits coups (§. 347), et si nous désignons par la ligne Al, supposée très-petite, l'espace que le mobile parcourt dans le premier instant de sa chute et en vertu de la première impulsion de la pesanteur, il faudra prendre sur la même perpendiculaire AX, les lignes lu, uu', $u'X$, etc., deux fois, trois fois, quatre fois, etc. plus grandes que Al, pour représenter les espaces que le mobile parcourra dans le second, le troisième, le quatrième, etc., instant de sa chute, (§. 347.).

D'un autre côté, le même corps A, supposé pour un moment sans pesanteur, et lancé dans la direction An''', parallèle à la surface de la terre, se mouvrait uniformément sur cette ligne, et décrirait en tems égaux des espaces égaux, (§. 247.); ensorte que si l'on représente par la ligne An, égale ou non à Al, mais supposée aussi très-petite, l'espace parcouru par ce corps dans un instant égal à une intermittence

de la pesanteur, les espaces parcourus dans les instans suivans seront représentés par les lignes $n n'$, $n' n''$, $n'' n'''$, etc., chacune égale à $A n$.

Mais si le corps A, lancé ainsi dans la direction $A n'''$, est en même tems soumis à l'action de la pesanteur, il obéira aux deux forces à la fois, et décrira dans le premier instant la ligne $A o$, diagonale du parallèlogramme $A n o l$, (§. 267.).

S'il ne recevait alors aucune impulsion nouvelle, ni de la pesanteur, ni d'aucune autre force, il continuerait à se mouvoir uniformément dans la direction $A o p'$, et décrirait dans le second instant la ligne $o p'$ égale à $A o$. Or cette ligne $o p'$, considérée comme la force qui agit sur le mobile dans le second instant, peut être décomposée dans les deux forces $o p$, égale à $n n'$, égale à $A n$, et $o o'$ égale à $o n$, égale à $A l$ (§. 262).

Mais le mobile recevant en o une seconde impulsion de la pesanteur; cette impulsion s'ajoutera à la première, et elles formeront ensemble la force $o q$, égale à $l u$, égale à $2 A l$. Ensorte que le mobile décrira dans le second instant la ligne $o r$, diagonale du parallèlogramme $o p r q$.

On verra de même qu'il décrira dans les

instans suivans les lignes rv, vR, etc.; ensorte qu'il décrira depuis le point A la ligne anguleuse $AorvR$ etc., composée de parties si petites et si peu inclinées entr'elles, que cette ligne réssemblera beaucoup à une courbe.

Cela posé, supposons que nous ayons pris un million d'instans pour en composer un espace de tems sensible (§. 347.), et que nous ayons pris un million de termes dans la suite des espaces Al, lu, uu', etc., et un million dans celle des espaces An, nn', nn'', etc., si pour ne point changer de figure, nous représentons le million de termes, Al, lu, uu', etc., par la ligne Al, et le million de termes An, nn', $n'n''$, etc., par la ligne An; nous aurons entre les points A et o, une ligne anguleuse composée d'un million de lignes droites.

Pour continuer la description de cette figure nous prendrons dans la direction AX, les lignes Al, lu, uu', etc., qui soient entr'elles comme les nombres:

1000001 : 3000001 : 5000001 : etc. (§. 347.): et dans la direction An''', les lignes An, nn', $n'n''$, etc., égales chacune à An; et nous aurons la grande ligne anguleuse $Aorv$ etc., dont chaque partie Ao, or, rv, etc., sera composée d'un million d'autres.

Alors plus nous supposerons petites les intermittences de la pesanteur, plus le nombre des instans qu'il faudra prendre pour former un intervalle de tems sensible sera grand, et plus aussi l'espace parcouru dans un instant sera petit; ensorte que les lignes *AB*, *bc*, *cd*, etc., approcheront toujours plus d'être entr'elles comme les nombres 1, 3, 5, 7, etc. (§ 345.)

En adoptant donc l'hypothèse de la continuité de la pesanteur, les lignes *AB*, *bc*, *cd*, etc., seront exactement entr'elles comme les nombres 1, 3, 5, 7, etc. (§ 345.), et la ligne anguleuse deviendra une ligne courbe, à laquelle les géomètres ont donné le nom de *parabole* (1).

§ 357. Imaginons qu'un mousse placé en A au-dessus du mât AX d'un vaisseau, que nous supposerons d'abord en repos, laisse tomber un boulet qu'il tenait à sa main, ce boulet tombera perpendiculairement de A en X, en suivant la direction du mât, parcourra en tems égaux des espaces qui croîtront comme la suite

(1) Les commençans ne se douteront pas sans doute d'avoir fait usage dans ce paragraphe et dans le § 347 du calcul différentiel ou infinitésimal.

des nombres impairs, et parviendra en X au pied du mât.

Mais si au moment où le boulet est lâché le vaisseau part, le mât s'éloignera du boulet, et celui-ci restant en arrière, il ne pourra retomber au pied du mât. Il tomberait même dans la mer si l'on pouvait supposer que le vaisseau marchât assez vîte pour cela.

Si au contraire le vaisseau partait avant que le mousse lâchât le boulet, alors le mousse étant en mouvement avec le vaisseau, et le boulet dans la main du mousse, tous ces corps tendraient, en vertu de leur inertie, à conserver le mouvement qu'ils auraient acquis, et à parcourir en tems égaux des espaces égaux dans la direction du mouvement du vaisseau (§. 247. 249.). Ensorte que, le mât étant venu de $m'''P$ en Ax, si le vaisseau s'arrêtait tout-d'un-coup, le boulet qui aurait parcouru d'un mouvement uniforme la ligne $m'''A$, ferait effort pour continuer sa route en décrivant en tems égaux les espaces égaux An, nn', $n'n''$, $n''n'''$, etc.; mais lâché à ce moment-là, et se trouvant soumis à l'action de la pesanteur, qui le solliciterait suivant AX, il décrirait la demi-parabole $AorvR$, et tomberait ainsi en avant du mât.

Si l'on supposait enfin que le mât étant venu

de m''' *P* en A X, il continuât à se mouvoir d'un mouvement uniforme de A X en n''' *R*, et que le boulet fût lâché, comme dans le cas précédent, à son passage en A, ce boulet décrirait la même parabole *AorvR;* mais quand il serait en *o* le mât serait en *noq*, quand il serait en *r* le mât serait en n' *prt*, quand il serait en *v* le mât serait en n'' *svz;* enfin quand il serait en R le mât serait en n''' *yR;* ensorte que le boulet tomberait réellement le long du mât, et arriverait à son pied. Alors les personnes placées dans le vaisseau croiraient que sa chute a été verticale, tandis que les spectateurs placés sur le rivage jugeraient fort bien de la courbe décrite par ce corps pesant.

§. 368. On voit donc par tout cela qu'un corps lancé dans une direction parallèle à la surface de la terre décrit une demi-parabole; et il est facile à comprendre que cette demi-parabole s'ouvrira d'autant plus, c'est-à-dire que le point R sera d'autant plus éloigné du point X que la force de projection aura été plus grande relativement à la pesanteur.

Par exemple, la courbe que décrivent une balle et un boulet lancés parallèlement à la surface de la terre, par la force de la poudre, au moyen d'un fusil ou d'un canon, est très-ouverte. On pourrait même croire, au premier

apperçu, que ces corps ne décrivent qu'une ligne droite, puisqu'ils vont frapper le but vers lequel le fusil ou le canon sont dirigés. Mais il faut observer qu'un fusil et qu'un canon sont toujours plus épais vers leur fond que vers leur embouchure, ensorte que lorsqu'on vise de *d* en *e*, (fig. 36), par la ligne *dbe*, la direction de la balle ou du boulet est vraiment *abc*. Le mobile en arrivant en *e* a donc baissé de la quantité *ce*.

§. 369. Si le mobile A, au lieu d'être lancé parallèlement à la surface de la terre, est lancé obliquement, et de haut en bas, par exemple, dans la direction An''' (fig. 37.), il est facile de voir par la figure, qu'il doit décrire une ligne courbe *AorvR*, que l'on démontre être encore une portion de parabole.

§. 370. S'il est lancé obliquement à la surface de la terre, mais de bas en haut, par exemple dans la direction *Pb*, (fig. 35.), et avec une force supposée égale à la même ligne *Pb*; pour savoir ce que deviendra le mobile, il faut décomposer la force *Pb*, en deux autres *Pc*, *Pd*, l'une parallèle à la surface de la terre et uniforme, et l'autre verticale, et contraire à la pesanteur. En vertu de ces deux forces le mobile décrira dans le

premier instant la diagonale *Pb* du parallélogramme *Pcbd*. Parvenu en *b*, il conservera sa force parallèle, qu'il faudra représenter par une ligne *be* égale à *Pc*, mais sa force verticale diminuée par l'action de la pesanteur ne sera plus représentée que par la ligne *bf* plus courte que *Pd*, et le mobile décrira la diagonale *bg* du parallélogramme *begf*. En continuant de raisonner ainsi, et én prenant des lignes verticales *Pd*, *bf*, *gi*, *km*, qui décroissent comme la suite des nombres impairs, on trouvera que le mobile décrira en montant la demi-parabole *PbgkA*, et que parvenu en A il aura perdu toute sa force verticale sans avoir rien perdu de sa force parallèle. Il se trouvera donc dans le même cas que le mobile dont nous avons parlé vers la fin du §. 366, et comme lui il décrira la demi-parabole *AorvR*. Il aura donc décrit de cette manière les deux branches de la parabole PAR.

C'est là le fondement de la *Ballistique*, ou de l'art de jeter les bombes.

§. 371. Enfin, si un mobile, se mouvant d'un mouvement uniforme, dans la direction PXR parallèle à la surface de la terre, est lancé verticalement de bas en haut, dans la direction Pdm''', au moment où il passe au point P, et cela avec une force capable de lui

faire parcourir Pd dans le premier instant, il est facile de voir qu'obéissant aux deux forces Pc, Pd, il décrira dans le premier instant la diagonale Pb, et que parvenu là, et conservant la même force parallèle, mais ayant perdu par l'action de la pesanteur une partie de la force verticale, il décrira dans le second instant la diagonale bg; et ainsi de suite. Ensorte que le mobile décrira encore en montant et en redescendant les deux branches de la parabole P A R.

C'est là le mouvement d'une pomme lancée verticalement de bas en haut par un cavalier qui court à toute bride. Cette pomme, lancée en P, dans la direction Pm''', décrit la parabole P A R, et vient retomber en R dans la main du cavalier qui a fait le chemin P R.

Mais on comprend que si le cavalier était en repos en P quand il lance la pomme, et qu'il partît au même instant, la pomme n'ayant point alors de force parallèle, s'élèverait simplement de P en m''', et redescendrait ensuite de m''' en P, pendant que le cavalier s'avancerait de P en R. La pomme resterait ainsi bien loin derrière le cavalier.

§. 372. Nous avons déjà dit (§. 368.) que lorsqu'on lance un corps parallèlement à la surface de la terre, le point R s'éloigne d'autant

plus du point X que la force de projection est plus grande relativement à la pesanteur ; ensorte que la demi-parabole AR se trouve par là plus ouverte. Il est facile de voir qu'il en serait de même de la parabole entière PAR décrite par un corps qu'on lancerait de bas en haut obliquement à la surface de la terre ; car si la force de projection, au lieu d'être *Pb*, n'est que *bg*, *bu'v* étant la surface de la terre, la parabole décrite, au lieu d'être PAR, ne sera que *bAv*, dont le sommet A est moins élevé au-dessus de *bu'v*, qu'il ne l'est au-dessus de PXR, et dont les points *b* et *v* sont moins écartés que les points P et X.

En supposant donc que la ligne *cXz* indique tout ce que nous pouvons appercevoir de la surface de la terre, et que nous soyons placés en X, au milieu de cette partie visible, nous pouvons nous représenter qu'un corps soit lancé du point P, situé pour nous au-delà de la terre, et cela avec assez de force pour lui faire décrire PAR, c'est-à-dire pour le faire passer au-dessus de notre tête, et redescendre ensuite en R plus loin encore que la partie visible de la surface de la terre.

Dans cette supposition nous nous demanderons sans doute ce que deviendra le corps en question, et nous serons d'autant plus excités à

faire nos efforts pour résoudre ce problême, que nous ne manquerons pas d'appercevoir un rapport en apparence très-prochain entre le mouvement supposé de notre mobile, et celui du soleil et de la lune que nous voyons chaque jour suivre une route à-peu-près semblable à celle de ce corps-là.

Mais pour savoir d'abord jusqu'à quel point ces mouvemens sont identiques, il faut étudier mieux la marche des corps célestes; et commencer par quelques définitions nécessaires à l'intelligence de cette matière.

§. 373. Ayant été appelés à parler du plan ou de la surface plane, nous avons cherché à en donner une idée en comparant cette surface à celle d'une feuille de papier, (§. 256); et dès-lors nous nous sommes souvent servis du mot de *plan*. Il conviendrait cependant d'en donner ici une définition plus exacte.

Nous dirons donc qu'*un PLAN est une surface à laquelle on peut appliquer dans toutes sortes de directions une règle bien dressée. Telle est sensiblement la surface d'une glace bien polie* (1).

En d'autres termes : *le PLAN est une surface dans laquelle prenant deux points à volonté, et*

---

(1) Mauduit.

joignant ces deux points par une ligne droite, cette ligne est toute entière dans la surface (1).

§. 374. Il faut remarquer à cette occasion que parce qu'on peut supposer un plan prolongé aussi loin qu'on le veut dans l'espace; on dit qu'un point est dans le plan de telle ou telle figure, non-seulement quand il est dans l'intérieur de cette figure, mais encore quand il est au dehors, pourvu qu'il soit placé de manière à se trouver dans ce plan s'il était prolongé.

Ainsi le point S (fig. 38) est dit dans le plan du cercle ABFD, parce qu'il se trouve sur le prolongement de ce plan.

§. 375. Si une ligne droite AC (fig. 38), tourne dans un même plan, sur une de ses extrémités C, son autre extrémité A décrit une ligne courbe ABD, dont tous les points sont à égale distance du point C. Alors 1°. l'espace terminé par la ligne courbe s'appelle *cercle;* 2°. la ligne courbe elle-même s'appelle *circonférence du cercle;* 3°. le point C s'appelle *centre du cercle;* 4°. la ligne AC, ainsi que toute autre ligne droite CB, CD, menée du centre à la circonférence s'appelle *rayon;* 5°. une ligne comme BD, qui passe par le centre, et qui

(1) Legendre.

est terminée de part et d'autre à la circonférence s'appelle *diamètre*. 6°. Une portion quelconque de circonférence, comme EFG s'appelle *arc de cercle*; et l'on nomme *corde* de cet arc la ligne droite EG qui joint ses deux extrémités; 7°. On appelle *tangente* d'un cercle une ligne droite TD qui n'a qu'un point de commun avec la circonférence; et ce point commun D s'appelle *point de contact*.

§. 376. Il est évident que tous les rayons d'un même cercle sont égaux entr'eux, et que tous les diamètres sont aussi égaux entr'eux et valent chacun le double du rayon.

On démontre d'ailleurs facilement que chaque diamètre partage le cercle et la circonférence en deux parties égales.

Enfin l'on démontre que la tangente TD est perpendiculaire à l'extrémité du rayon CD qui aboutit au point de contact.

§. 377. Si plusieurs cercles sont *concentriques*, c'est-à-dire s'ils ont le même centre, comme ceux de la fig. 38 *a*; il est facile de voir qu'une ligne droite HO qui en partage un en deux parties égales, partage aussi les autres en deux parties égales quand elle est prolongée convenablement. De même deux lignes HO, ZT, qui partageraient un des cercles en quatre parties égales, partageraient

aussi les autres en quatres parties égales. Enfin, deux lignes TO, TV, qui, en partant du centre commun, intercepteraient entr'elles un arc VO supposé la dizième, ou la vingtième, ou la etc. partie d'un des cercles, intercepteraient aussi entr'elles des arcs RS, XY, etc., qui seraient des portions semblables des cercles auxquels ils appartiendraient.

D'après cela si l'on voit que les lignes TH, TY, interceptent entr'elles en RS un arc égal à la vingtième partie de la circonférence RSMR, on en conclura que les points X et Y auxquels ces lignes aboutissent sont éloignés l'un de l'autre de la vingtième partie de la circonférence à laquelle ils appartiennent; et l'on aura par là une idée de leur éloignement respectif sans connaître leur distance vraie et absolue, parce qu'on n'est pas supposé savoir quelle est la véritable grandeur de la circonférence sur laquelle ces points sont placés.

§. 378. Pour suivre une marche régulière et uniforme dans ces sortes d'estimations, on est convenu de supposer tout quart de cercle ou *quadrans* divisé en cent parties égales appelées des *degrés*, ou des *grades*, et au besoin chaque degré en cent parties égales appelées des *minutes*, chaque minute en cent parties égales appelées des *secondes*, et ainsi de suite.

Ensorte

Ensorte que lorsqu'on dit que deux points, pris sur une circonférence de cercle sont éloignés d'un degré, cela signifie que l'arc compris entre ces deux points est la 100me partie du quadrans de ce cercle, quelle que soit d'ailleurs la grandeur absolue du cercle même.

§. 379. Ce n'est pas tout : nous avons dit (§. 253), que lorsque deux lignes droites se rencontraient, la quantité plus ou moins grande dont elles étaient écartées l'une de l'autre s'appelait *angle ;* mais, comment mesurerons-nous cet écartement quand nous voudrons comparer entr'elles les grandeurs des angles? Pour ne pas risquer de nous tromper à cet égard, supposons que les deux côtés d'un angle soient couchés l'un sur l'autre, et voyons si en séparant ces côtés et en faisant tourner l'un d'eux sur le point où doit être placé le sommet de l'angle, nous ne pourrons point découvrir comment se forme cet angle, et suivant quelle loi ses côtés s'écartent l'un de l'autre. Imaginons, par exemple, que la ligne TR soit couchée sur la ligne TS, il est clair que puisque ces lignes sont égales, comme rayons d'un même cercle, le point R sera couché sur le point S. Séparons ensuite TR en la faisant tourner sur le point T, et nous verrons que le point R, en s'éloignant du point S, décrira

un arc de cercle SR qui exprimera le chemin fait par le point R. Si nous continuons le mouvement de TR, jusques à ce que le point R ait encore fait autant de chemin qu'il en avait fait d'abord, il est clair que nous aurons un second angle parfaitement égal au premier STR, et que le point R aura décrit un second arc parfaitement égal au premier RS, et, en continuant ainsi, nous verrons qu'à un angle double répond un arc double, à un angle triple répond un arc triple, et ainsi des autres rapports.

Ensorte que nous serons conduits à cette conclusion, susceptible d'ailleurs d'une démonstration plus rigoureuse, c'est que pour comparer les angles entr'eux, il suffit de comparer entr'eux les arcs décrits entre leurs côtés avec un même rayon, ou à une même distance de leur sommet.

§. 380. Je dis à une même distance de leur sommet; mais cette distance elle-même est indéterminée et arbitraire; car si l'on prolonge les lignes TS, TR jusqu'en O et V, ou jusqu'en Y et X, etc., ce prolongement ne fera pas tourner davantage la ligne TR sur le point T, et par conséquent l'angle formé par les deux lignes ne sera par là ni augmenté, ni diminué. Ensorte que la grandeur d'un

angle dépend de l'écartement de ses côtés, mais ne dépend point de leur longueur; c'est à quoi il faut bien prendre garde (1).

Au lieu donc de considérer le point R comme s'éloignant du point S, on pourrait considérer le point V, comme s'éloignant du point O, ou le point X du point Y, etc., et l'on pourrait aussi bien juger du rapport des angles formés au centre T en les comparant aux arcs du second, du troisième cercle, etc., qu'en les comparant aux arcs du premier; l'essentiel est que ces arcs soient décrits avec le même rayon.

§. 381. Il faut cependant observer à cet égard que si l'on ne parle pas de la grandeur absolue des arcs, mais seulement du nombre de leurs degrés, on peut comparer des angles entr'eux au moyen d'arcs pris dans des cercles différens. Ainsi comme l'angle STR est égal à lui-même, et qu'il y a autant de degrés dans l'arc RS qu'il y en a dans l'arc XY, (§. 377. 378.),

---

(1) J'ai suivi la définition de l'angle donnée par *Legendre*, mais je ne sais point si l'on n'en pourrait pas trouver encore une meilleure; car quand on parle de l'écartement de deux points, de l'écartement de deux lignes, le mot d'écartement semble indiquer et faire entendre une distance en ligne droite.

on peut dire que l'angle STR est à lui-même, comme l'arc RS est à l'arc XY, si dans le calcul on ne fait entrer que le nombre des degrés de ces arcs, et non leur grandeur absolue.

§. 382. Le corps régulier que l'on nomme communément *boule* et quelquefois *globe*, s'appelle plus généralement *sphère.*

La sphère est un corps, ou même simplement un volume, un espace, terminé par une surface courbe dont tous les points sont également éloignés d'un point intérieur qu'on appelle *centre.*

§. 383. Il est facile de voir que la sphère doit avoir ses rayons et ses diamètres comme le cercle a les siens; mais quand on conçoit que la sphère tourne sur elle-même, ou sur un de ses diamètres, ce diamètre prend alors le nom *d'axe*, et les deux extrémités de l'axe se nomment *pôles.*

§. 384. Si l'on coupe la sphère en deux parties égales par un plan qui passe au centre, chaque moitié de la sphère s'appelle *hémisphère;* et la figure de la section est un cercle qui a son centre au centre de la sphère.

§. 385. Tout cercle tracé sur la sphère et qui a son centre au centre de la sphère s'appelle *grand cercle de la sphère*, pour le distinguer

des *petits cercles* qui n'ont pas leur centre au centre de la sphère.

Il est facile de voir que tous les grands cercles sont égaux, mais que parmi les petits cercles il n'y a d'égaux que ceux qui sont également éloignés du centre et dont les plans sont d'ailleurs parallèles.

Nous ne faisons qu'indiquer toutes ces choses qui seraient susceptibles de démonstration, mais qu'il suffit d'énoncer, dans le but que nous nous proposons. Nous allons passer au mouvement des corps célestes.

§. 386. Le soleil, la lune et les étoiles nous paraissent attachés et en quelque sorte fixés à cette voûte azurée qu'on appelle le *ciel*, et qui semble reposer sur la surface de la terre.

Quant à cette surface, nous sommes portés à la juger aplatie, du moins en faisant abstraction des inégalités qui s'y rencontrent souvent.

§. 387. Mais pour peu que nous y réfléchissions nous nous apercevrons bientôt qu'il peut et qu'il doit y avoir beaucoup d'illusions dans toutes ces apparences-là.

Et d'abord, en remarquant que les nuages qui sont isolés et très-éloignés de la surface de la terre, ainsi que tous les corps qui peuvent s'élever à un certain point dans l'atmosphère, comme les cerfs-volants, les ballons

mieux décider vers quels lieux doivent se porter les corps célestes en vertu de la pesanteur que nous leur supposons aussi. Car, que l'on y prenne garde, nous ne savons pas encore à quelle distance de nous sont placés les corps célestes, et par conséquent nous ignorons leur grosseur, et nous ne pouvons pas décider s'ils ont ou s'ils n'ont pas, comme les corps *que nous pouvons saisir*, une tendance vers la terre.

§. 390. Quant aux corps qui pèsent vers la terre, ils peuvent rester suspendus, et comme l'on dit *en l'air*, de plusieurs manières.

D'abord si ces corps, malgré leur tendance vers la terre, sont plus légers que les couches inférieures de l'atmosphère, (§. 123.), ils s'élèveront jusqu'à un certain point dans l'air, comme un corps plus léger que le fluide dans lequel il est plongé s'élève dans ce fluide, (§. 52). C'est le cas des nuages, des ballons aërostatiques, etc.

Mais si ces corps sont plus pesants que l'air, ils pourront encore rester suspendus, et même s'élever, du moins pendant un certain tems, pourvu qu'ils soient lancés perpendiculairement ou obliquement à la surface de la terre, et de bas en haut, avec une force suffisante, (§. 350. 357. 358. 370. 371.).

Ce n'est pas tout : un corps plus pesant que

l'air, peut, quoique très-éloigné de nous, être lancé avec une force si grande, qu'après avoir passé au dessus de notre tête en décrivant une courbe, il s'eloigne assez pour que nous ne puissions observer ce qu'il devient (§. 372.). Et dans ce cas, nous ne saurons point par expérience quelle est sa chute, ni comment il obéit à la pesanteur. Or, nous avons déjà remarqué qu'il y avait de l'analogie entre le mouvement de ce *projectile* et celui des corps célestes, (§. 372.). Observons donc mieux la marche de ces derniers, avant de décider s'ils ont besoin d'être soutenus.

§. 391. Et répétons d'ailleurs, 1°. qu'il est très-possible que les cieux ne soient point solides; 2°. qu'il peut très-bien arriver que les corps célestes ne soient ni fixés à la voûte azurée, ni soutenus, dans le sens que l'on attache communément à ce mot; 3°. que ces corps peuvent être placés à de grandes distances de nous, et au delà de l'atmosphère, à travers de laquelle nous les verrions alors.

§. 392. Non-seulement ils peuvent être à de grandes distances de nous, mais encore à des distances très-inégales entr'elles, malgré que nous les rapportions tous à une même voûte, à la voûte azurée; car nous ne jugeons ordinairement de la distance respective des corps

que par l'observation des objets intermédiaires et plus ou moins connus et contigus entr'eux auxquels nous les rapportons ; or ces objets ne se trouvent pas dans les espaces occupés par les corps célestes.

D'ailleurs la même illusion a lieu sur la terre quand on allume de nuit des feux isolés et qu'on les élève assez pour qu'ils n'éclairent point trop les objets intermédiaires ; nous les jugeons alors à une même distance quoique cela ne soit pas réel ; et seulement regardons-nous comme plus petit le feu qui dans le vrai est le plus éloigné.

§. 393. Par la même raison le ciel nous semble reposer sur la terre, parce qu'il ne se trouve point d'objets intermédiaires qui puissent nous faire juger de la distance qui le sépare d'elle.

§. 394. La jonction apparente du ciel et de la terre s'observe très-bien quand on est en pleine mer, ou dans un pays plat et découvert. Cet immense cercle qui se présente alors à nous et dont tous les points sont à une même distance de notre œil, (§. 388.), se nomme *horizon*.

Outre cet horizon l'on s'en représente souvent un autre, de cette manière : on imagine un plan passant par l'œil de l'observateur et

parallèle à la surface d'une eau calme et dormante, ou ce qui est la même chose, parallèle à la surface de la terre, (§. 22), et l'on appelle *horizon* le cercle qui résulte de la rencontre de ce plan avec la voûte azurée.

Pour distinguer ces deux horizons on nomme le premier *horizon sensible*, et le second *horizon rationel;* nous aurons occasion de parler encore par la suite de la différence qu'il y a entr'eux.

On comprend en attendant que l'œil de l'observateur est toujours au centre de l'horizon rationel, parce qu'il est non-seulement à égales distances de tous les points de ce cercle, mais encore dans son plan même. En échange l'œil de l'observateur n'est pas ordinairement au centre de l'horizon sensible, parce que quoique placé à égales distances de tous les points de ce cercle, il est presque toujours hors de son-plan, étant communément élevé au dessus de la surface de la terre.

Cependant si un observateur avait l'œil à la surface même de la terre, alors son horizon sensible ne différerait plus de son horizon rationel. Mais quand cet œil s'élève, les rayons visuels dirigés vers la circonférence des deux horizons se séparent, et celui qui est mené vers l'horizon sensible s'abaisse au dessous

de celui qui est mené vers l'horizon rationel.

Du reste, on ne fait usage en astronomie que de ce dernier horizon ; et ce sera celui dont il sera toujours question dans cet ouvrage, à moins que nous ne disions précisément le contraire.

§. 395. Cela posé, le point du ciel qui est immédiatement au dessus de notre tête se nomme *zénith ;* le point opposé, situé au dessous de nos pieds, dans quelque lieu qu'il réponde, se nomme *nadir ;* et la ligne qui va du zénith au nadir, et qui est perpendiculaire à la surface de la terre ou à l'horizon, s'appelle *verticale.* Nous avons dit qu'elle était indiquée par la direction du fil-à-plomb, (§. 358.).

§. 396. En conséquence un plan situé dans l'horizon, ou parallèle à l'horizon, s'appelle *plan horizontal ;* une ligne et un cercle tracés dans ce plan se nomment *ligne horizontale* et *cercle horizontal.*

§. 397. De même un plan qui passe par la ligne verticale, ou dans lequel se trouve la ligne verticale, et qui est par conséquent perpendiculaire à l'horizon, (§. 395.), se nomme *plan vertical*, et l'on nomme *cercle vertical*, un cercle tracé dans ce plan, et qui a la verticale pour diamètre.

§. 398. Chaque jour le soleil *se lève* vers un

certain côté de l'horizon, et après être monté pendant quelques heures il redescend du côté opposé pour *se coucher*, et disparaître en passant au dessous de l'horizon. Alors les étoiles, dont la lumière était en quelque sorte absorbée par la grande clarté du soleil, deviennent visibles.

§. 399. La lune se lève et se couche aussi comme le soleil, et marche dans le même sens que lui; mais elle a des *phases* et des apparences assez singulières, que nous n'examinerons pas pour le moment. Nous nous contenterons d'observer que quand elle se lève avant le soleil, elle se couche aussi avant lui, et qu'en conséquence nous la voyons alors le matin avant jour, et que nous ne la voyons point le soir; et même il n'arrive pas souvent que sa lumière soit assez vive pour qu'elle la puisse rendre visible quand une fois le soleil est sur l'horizon.

Mais si la lune se lève après le soleil, alors nous ne saurions la voir le matin avant jour, et nous ne pouvons la voir que le soir après le coucher du soleil, à moins que sa lumière ne soit assez forte pour la faire distinguer en plein jour.

Enfin, quand elle se lève au moment où le soleil se couche, nous la voyons alors toute la

nuit; et nous observons mieux que jamais qu'elle se lève, monte au dessus de l'horizon, redescend et se couche, comme le fait le soleil, et en marchant dans le même sens que lui.

§. 400. Voilà des observations que tout le monde a faites; en voici que chacun peut faire.

En observant les étoiles par une belle nuit, on remarquera que quoique leur distance respective reste en général la même, et qu'elles dessinent constamment à nos yeux les mêmes figures, elles paraissent cependant se mouvoir toutes ensemble, d'un mouvement commun, qui se fait dans le sens des mouvemens du soleil et de la lune, dont nous avons parlé. Ce mouvement se reconnaîtra facilement, en rapportant les étoiles à quelqu'objet remarquable, à quelque tour, quelque clocher, etc.; ou en dirigeant une lunette montée sur un pied vers quelque belle étoile.

§. 401. Si l'on se place de manière à ce que l'on ait à sa droite le côté de l'horizon vers lequel le soleil, la lune et les étoiles se lèvent, et que l'on appelle à cause de cela l'*orient* ou l'est, on aura à sa gauche le côté de l'horizon vers lequel tous ces corps se couchent, et que l'on nomme en conséquence l'*occident* ou l'ouest. Alors on [illegible] le côté de

l'horizon, que l'on désigne par le mot de *septentrion* ou de *nord*, et derrière soi celui que l'on appelle *midi* ou *sud*.

§. 402. Il faut observer à cet égard, que puisque les étoiles, dans leur mouvement d'orient en occident, conservent en général leurs distances respectives, (§. 400.), l'orient vrai d'une étoile peut différer beaucoup de l'orient vrai d'une autre étoile; et que ces corps se trouvant dans toutes les régions du ciel, il y a nécessairement des étoiles qui se lèvent très-près du nord, et d'autres très-près du sud.

§. 403. En observant attentivement les étoiles pendant une nuit toute entière, on reconnaîtra sans peine, non-seulement qu'elles passent toutes de l'orient à l'occident, en conservant leurs distances respectives, mais encore que chaque étoile, dans ce mouvement-là, décrit un cercle, ou du moins une portion de cercle; et si l'on est tourné du côté du nord, on verra que les cercles décrits par les étoiles devien- [illegible] de plus en plus petits, à mesure qu'ils [illegible]rochés de ce côté-là ; qu'ils vont [illegible] dans un point unique et im- [illegible] dessus de l'horizon d'environ [illegible] oûte azurée ; et que c'est par [illegible] de ce point que les étoiles

§. 404. Quand le cercle décrit par une étoile autour de ce point fixe, comme autour d'un centre, n'est pas assez grand pour atteindre l'horizon, l'étoile ne se couche point; mais quand ce cercle est assez grand pour atteindre l'horizon, l'étoile se lève et se couche; et il est facile de conclure de là qu'elle doit décrire au dessous de l'horizon la portion de son cercle qui ne paraît pas au dessus; d'où il résulte qu'il doit y avoir au dessous de l'horizon une voûte azurée comme celle que nous voyons au dessus, ou que le ciel doit être en forme de boule creuse, dans l'intérieur de laquelle la terre se trouve placée.

Cette conclusion est confirmée par la manière dont les étoiles se lèvent et font leur cours au dessus de l'horizon; car si nous observons plusieurs étoiles, paraissant à la fois à l'orient, nous les verrons s'élever ensemble en tournant autour du point fixe dont nous avons parlé, et bientôt de nouvelles étoiles paraîtront à leur tour à l'orient pour s'élever comme les premieres et être encore remplacées par d'autres. Ensorte que le ciel paraît tourner sur lui-même tout d'une pièce et comme pourrait le faire, non un demi-globe, mais un globe entier.

§. 405. En se figurant ainsi le mouvement du ciel,

ciel, on conçoit qu'il doit y avoir non pas un seul point fixe, autour duquel se fasse ce mouvement, mais deux points semblables, et opposés l'un à l'autre; et du moment qu'on en a reconnu un qui est élevé d'une certaine quantité au dessus de l'horizon vers le nord, on s'en représente tout-de-suite un autre qui doit être abaissé au dessous de l'horizon du côté du midi: ces deux points ont été nommés les deux *pôles* du monde, et la ligne que l'on suppose aller d'un pôle à l'autre a été nommée *l'axe* du monde. Cela posé, si l'on imagine un grand cercle qui ait tous les points de sa circonférence à égale distance des deux pôles, et qui partage ainsi le ciel en deux parties égales, l'une du côté du nord, l'autre du côté du midi, ce cercle se nommera *l'équateur;* et l'on appellera *hémisphère septentrional* et *hémisphère méridional* les deux portions du ciel situées du côté du nord et du côté du midi et séparées par l'équateur. Nous allons bientôt rechercher ce qu'il faut penser de ce mouvement de rotation de tout le ciel, qui se fait d'orient en occident, et que l'on a nommé le *mouvement diurne.*

Disons en attendant un mot des méridiens.

§. 466. Si l'on se représente un cercle passant par les deux pôles du monde, et en même

tems par le zénith et le nadir d'un observateur placé à la surface de la terre, on comprendra que ce cercle, qui a pour un de ses diamètres la ligne verticale, est un cercle vertical, ou perpendiculaire à l'horizon, (§. 397). Et puisqu'il passe en même tems par les pôles, on conçoit qu'il coupe en deux parties égales les portions des cercles diurnes qui sont soit au dessus, soit au dessous de l'horizon; et par conséquent, que le soleil monte depuis son lever jusqu'à ce vertical, et qu'il redescend ensuite depuis ce vertical jusqu'à son coucher. Ce cercle marquant ainsi le milieu du jour au moment où le soleil le traverse, a été nommé *méridien;* et l'on appelle *ligne méridienne*, ou simplement *méridienne*, la ligne horizontale, (§. 396.), qui va du point où le méridien coupe l'horizon du côté du nord au point où il le coupe du côté du midi.

§. 407. Ces deux points marqués à la circonférence de l'horizon par la ligne méridienne portent eux-mêmes les noms de *nord* et de *midi*, et l'on nomme *orient* et *occident*, les points de l'horizon indiqués par une autre ligne horizontale rencontrant la méridienne à angle droit, et passant par les pieds de l'observateur. Ce sont ces quatre points qu'on appelle *cardinaux*, et qui sont écartés l'un de l'autre d'un

quadrans ou d'un quart de cercle. Ils se trouvent déterminés par là un peu plus précisément qu'ils ne l'avaient été aux §. 401 et 402.

§. 408. Il est facile de voir qu'on peut faire passer par le zénith et le nadir de chaque observateur une infinité de cercles, qui seront tous verticaux et perpendiculaires à l'horizon, parce qu'ils auront tous la verticale pour un de leurs diamètres; mais il n'y aura qu'un seul de ces verticaux qui pourra passer par les deux pôles du monde tout en passant par le zénith et le nadir; et c'est ce vertical unique qui s'appelle le méridien. Il y aurait plusieurs observations à faire sur tout cela, mais elles nous écarteraient trop de notre objet, qui n'est pas proprement de faire un cours d'astronomie, et nous devons par conséquent nous borner aux observations qui nous sont absolument nécessaires pour atteindre notre but.

§. 409. On a remarqué qu'en voyageant sur la terre, si l'on s'avance du côté du septentrion, le pôle-nord paraît s'élever graduellement au dessus de l'horizon, et qui si l'on s'avance au contraire du côté du midi, le même pôle paraît s'abaisser et se rapprocher de l'horizon, comme on le voit en se retournant pour mesurer sa hauteur. Ces apparences doivent nous faire penser que la surface de la terre au lieu

d'être plane comme elle nous le paraît, est contraire arrondie, et que nous ne la jugec aplatie que parce que nous ne voyons qu'u trop petite partie de son étendue pour ap cevoir sa convexité.

D'ailleurs, on n'atteint jamais le point jonction du ciel et de la terre, la voûte azu et le bord de l'horizon semblent fuir dev nous quand nous voulons nous en rapproch tandis que les points opposés nous suivent quelque sorte, et se tiennent toujours à u même distance de nous. Tout cela ne p s'expliquer parfaitement sans supposer la r deur de la terre; qui devient d'ailleurs sensi par une observation faite en mer ou au b de la mer, et dont nous allons rendre comp

Quand un vaisseau part et s'éloigne côtes, les objets qui disparaissent les premi aux yeux des navigateurs sont les objets les p bas, et ceux qui disparaissent les derniers s les objets les plus élevés, comme les tou les clochers, le sommet des montagnes. contraire a lieu quand un vaisseau s'avance la pleine mer vers le port, les premiers ob apperçus par les navigateurs sont les somn des montagnes, les clochers, etc.; les au ne paraissent qu'ensuite, et en général, semblent tous sortis graduellement du sein

eaux. Quant aux personnes qui sont sur le rivage, lorsqu'un vaisseau part, il leur paraît s'enfoncer petit à petit dans la mer, et quand il arrive, il leur semble en sortir peu à peu. Toutes ces apparences n'auraient point lieu, sans la courbure de la terre, à laquelle participe la surface des eaux. La terre est donc ronde, ou à peu près ronde.

§. 410. La terre étant ronde, et d'ailleurs le ciel ne reposant point sur la terre, et en étant même à une certaine distance, comme le prouvent les observations du §. 409, nous pouvons représenter la terre par le cercle R S M fig. 38. *a*, et le ciel par le cercle HZO.

Cela posé, il n'y a que deux moyens d'expliquer le mouvement diurne; et il faut nécessairement supposer, ou que le ciel tourne véritablement en 24 heures d'orient en occident autour de la terre, ou que ce mouvement du ciel n'est qu'apparent, et que cette apparence provient d'une rotation de la terre sur elle-même d'occident en orient dans l'espace de 24 heures. Il est facile de voir que de l'une de ces manières ou de l'autre les phénomènes doivent être les mêmes.

§. 411. Imaginons que la terre tourne sur elle-même d'occident en orient, et que l'horizon d'abord placé en *ho* (fig. 39.) se trouve

successivement dans les positions $h'o'$, $h''o''$, il répondra successivement aux points du ciel *e*, *b*, *a*; ensorte qu'une étoile *e*, paraissant d'abord à l'horizon du côté de l'orient, s'en trouvera successivement à des distances *be*, *ae*, etc., qui deviendront toujours plus grandes, et elle semblera ainsi s'élever au dessus de l'horizon et tourner autour de la terre d'orient en occident pendant que la terre tournera sur elle-même d'occident en orient.

D'ailleurs, si le globe *nqsrtqe* (fig.40), représente la terre, qu'on suppose tourner sur son axe *ns*, on verra 1°. que tous les points de son équateur *eqtr*, viendront successivement passer sous le point Q de l'équateur céleste *EQTR*, et qu'une étoile placée dans ce cercle paraîtra le décrire; 2°. que les pôles *n* et *s* de la terre répondront toujours aux pôles *N* et *S* du ciel, ensorte que ceux-ci sembleront immobiles, et que les étoiles placées à ces points-là, s'il y en a, n'auront aucun mouvement; 3°. que tous les points du cercle *abcd* parallèle à l'équateur terrestre *eqtr*, passeront successivement sous le point B du cercle ABCD parallèle à l'équateur céleste EQTR et correspondant au cercle *abcd*, et qu'une étoile placée dans ce cercle ABCD paraîtra le décrire.

Or ces phénomènes sont précisément ceux que nous présente le mouvement diurne.

§. 412. Mais pour expliquer ce mouvement dans la supposition de l'immobilité de la terre, il faudrait imaginer que toutes les étoiles, placées sans doute à de grandes distances de la terre, et à des distances inégales entr'elles (§. 391. 392.) s'entendissent, en quelque sorte, pour tourner chaque jour d'un commun accord autour d'elle, et cela en conservant leurs distances respectives, et par conséquent avec des vîtesses non-seulement considérables mais encore inégales autant que le sont leurs distances. Tandis que les mêmes apparences peuvent s'expliquer comme nous venons de le voir (§. 410. 411.), d'une manière incomparablement plus simple, en imaginant le ciel immobile, et en supposant que la terre tourne sur elle-même en 24 heures.

§. 413. On fait plusieurs objections contre ce mouvement de la terre, et l'on dit d'abord qu'on ne le sent point. Mais comment pourrait-on le sentir, puisque la terre ne reçoit aucun choc et se meut d'un mouvement beaucoup plus doux et plus uniforme que celui d'un bateau qui coule sur une eau calme? Il est clair que nous ne pouvons dans ce cas appercevoir notre passage d'un lieu dans un autre

que par le mouvement apparent qui en résulte dans les objets qui nous environnent. Et c'est aussi ce qui arrive souvent dans un bateau, lorsqu'étant entraînés par la pente de l'eau, nous tenons les yeux fixés sur le rivage, qui semble alors s'éloigner de nous.

Dailleurs, l'air lui-même, dont les parties sont liées entr'elles et à la terre par la cohésion et la pesanteur, l'air dis-je ne peut que tourner avec la terre dont il doit avoir reçu petit à petit le mouvement, et c'est une raison de plus pour que ce mouvement ne s'aperçoive que par l'observation des objets environnans.

§. 414. On dit ensuite que, la terre tournant, nous serions tantôt droits, tantôt renversés; que dans un tems nous aurions les pieds en bas, et dans un autre les pieds en haut.

Mais, la réponse à cette objection se trouve dans les réflexions du §. 389. Le bas pour nous c'est la surface ou plutôt le centre de la terre; c'est-là le point vers lequel se dirigent tous les corps qui tombent sur le globe que nous habitons. S'écarter du centre c'est s'élever, s'en rapprocher c'est descendre. Nous aurons donc toujours les pieds en bas, quand nous les aurons le plus près possible du centre de la terre, quel que soit le mouvement de ce corps.

En combinant d'ailleurs ceci avec ce que nous avons dit au §. 389, on n'objectera point que la terre étant ronde et tournant sur elle-même dans l'espace, comme nous le supposons, elle serait isolée et ne reposerait sur rien: cette objection n'en serait pas une.

§. 415. On dit enfin que si la terre tournait, un boulet lancé de bas en haut, bien perpendiculairement à l'horizon, ne retomberait point dans la bouche du canon, ni même près de là, mais qu'il resterait bien loin derrière, la terre entraînant avec elle le canon pendant que le boulet monte et descend.

Mais le boulet, avant de sortir du canon, participe au mouvement de la terre, et possède ainsi une force horizontale, qui, combinée avec la force de la poudre, force modifiée elle-même par l'action de la pesanteur, lui fait décrire une parabole, et le ramène ainsi dans la bouche du canon (§. 371.); tout comme une pomme, lancée de bas en haut par un cavalier, le suit et retombe dans sa main (§. 371.).

Le même principe sert à expliquer quelle doit être l'étendue du mouvement d'un boulet lancé parallèlement à l'horizon, d'abord dans le sens du mouvement de la terre, et ensuite dans le sens contraire.

Pour que la chose devienne plus simple,

imaginons que ce boulet soit lancé dans le plan de l'équateur, et que la force de la poudre soit égale à celle de la terre, ce qui n'est pas loin de la vérité.

Le boulet étant lancé dans le sens même du mouvement de la terre, devra parcourir un espace double de celui qu'il parcourrait si la terre était en repos; car il se meut en vertu de deux forces qui conspirent, c'est-à-dire la force de la terre et celle de la poudre (§. 251). Le même boulet lancé dans le sens contraire au mouvement de la terre, devrait rester en repos; car il est sollicité par deux forces égales et opposées l'une à l'autre, c'est-à-dire encore la force de la terre et celle de la poudre (§. 251). Et cependant dans les deux cas, le boulet semble avoir par le fait parcouru le même espace.

La réponse est bien facile; car on peut dire que dans le premier cas le boulet a réellement parcouru un espace double, mais que le canon, entraîné par la terre, l'a suivi, et a fait la moitié du chemin; ensorte qu'on n'a mesuré qu'une distance simple du canon au boulet. En échange, dans le second cas, le boulet est vraiment resté en repos, mais le canon, encore entraîné par la terre, a fui le boulet, et il est toujours resté entr'eux un espace simple.

§. 416. Concluons de tout cela que les objections faites contre le mouvement de la terre n'ont aucune force, et qu'en conséquence les raisons qu'il y a de l'admettre restent avec tout leur poids, (§. 412). (1).

§. 417. Le mouvement diurne étant ainsi expliqué, nous passerons à l'examen d'un autre phénomène, d'un autre mouvement réel ou apparent que nous montrent plusieurs corps

---

(1) Quelques auteurs, en exposant les principes de l'Astronomie, ont, comme La Caille, indiqué d'abord à leurs lecteurs le véritable système du monde et les mouvemens vrais des corps célèstes, pour en déduire ensuite les apparences qui en devaient résulter pour nous, et prouver par l'accord de ces résultats avec les observations que le système reçu était le seül admissible. D'autres auteurs, comme Lalande, ont senti que cette marche n'était pas la plus naturelle, et ont en conséquence commencé leurs ouvrages par l'exposition des phénomènes pour en déduire les conséquences que les astronomes en ont tirées. Il me semble qu'en cela ils ont eu raison; mais n'auraient-ils point dû peut-être expliquer chaque phénomène immédiatement après l'avoir exposé, afin que le commençant arrivât plus vîte au vrai, qu'il est impatient de connaître, et dont il se doute d'ailleurs toujours plus ou moins dans l'état actuel de l'instruction générale? — J'ai essayé de réaliser ici mon idée sur la marche de l'enseignement de la belle science qui noüs occupe dans ce moment; et quoique les démonstrations n'aient peut-être pas ainsi du premier abord toute la rigueur dont elles seraient susceptibles placées ailleurs, l'avantage de la méthode que je propose m'a cependant paru réel.

célestes, mais que nous observerons d'abord dans celui où il est le plus sensible et le plus marqué; c'est-à-dire dans la lune.

Non-seulement la lune paraît faire avec le ciel entier le tour de la terre dans l'espace de 24 heures, et cela par un effet de la rotation de la terre sur elle-même; mais encore chaque jour elle paraît s'avancer d'une certaine quantité d'occident en orient, c'est-à-dire dans le sens contraire du mouvement diurne. Ainsi si l'on a remarqué un soir la lune auprès de quelque belle étoile, le lendemain on voit qu'elle s'en est éloignée vers l'orient d'environ la vingt-septième partie du ciel entier. Je dis que la lune s'est éloignée de l'étoile, et non l'étoile de la lune, parce que les étoiles, comme nous l'avons déjà dit, (§. 400), et comme nous devons le répéter encore ici, conservent leurs positions et leurs distances respectives, et dessinent toujours à nos yeux les mêmes figures; ensorte que si nous voulions attribuer à l'étoile en question le mouvement dont je parle, il faudrait dire, non-seulement que l'étoile s'est éloignée de la lune, mais que toutes les étoiles situées du même côté que celle-là ont fait la même chose; ou plutôt il faudrait attribuer ce mouvement au ciel entier. Or nous avons déjà observé (§. 412.), que les cieux

n'étant pas solides, et les corps célestes n'étant sans doute pas tous à la même distance de nous, il n'était pas concevable que le ciel tournât ainsi tout d'une pièce, ni dans un sens, ni dans l'autre; ce n'est donc point ici le ciel, ni par conséquent l'étoile en question qui se meuvent, mais c'est la lune; et, je le répéte, en la rapportant aux étoiles, on la voit chaque jour s'avancer d'occident en orient, dans le sens contraire du mouvement diurne, d'environ la vingt-septième partie de la sphère céleste; ensorte qu'au bout de 27 jours et $\frac{1}{3}$ elle revient se placer auprès des étoiles vers lesquelles on l'avait d'abord observée.

§. 418. Je me suis exprimé, pour plus de simplicité, comme si le mouvement en question n'eût pu appartenir qu'aux étoiles ou à la lune; mais il est facile de voir qu'il pourrait aussi appartenir à la terre, que nous savons déjà tourner sur elle-même, et qui par conséquent pourrait bien avoir encore un mouvement en avant, ou, comme on dit, un mouvement *de progression*, outre celui de *rotation;* c'est ainsi qu'une boule qui roule sur un plan, avance en même tems qu'elle tourne sur elle-même.

Je dis donc que le mouvement qui nous occupe pourrait appartenir ou aux étoiles, ou à la lune, ou à la terre; car en admettant l'inégale distance de la lune et des étoiles à

la terre, et en supposant la terre en T (fig. 41), la lune en L et une étoile en E, il y aura trois moyens d'amener ces corps sur une même ligne droite, en en faisant mouvoir un seul sans déplacer les autres; car cela aura lieu, 1°. lorsque la terre et la lune étant immobiles, l'étoile viendra de E en F; 2°. lorsque la terre et l'étoile étant immobiles, la lune ira de L en M; 3°. lorsque la lune et l'étoile étant immobiles, la terre marchera de T en R. Or le premier de ces moyens devant être rejeté, (§. 417), il reste à voir si le mouvement de la lune d'occident en orient est réel, ou s'il provient de quelque mouvement de la terre.

§. 419. Et d'abord il est clair que si la terre tournait sur elle-même d'orient en occident dans l'espace d'un mois, ce mouvement rapporté à la lune la ferait paraître tourner autour de la terre d'occident en orient dans le même espace de tems. Mais pour ne pas nous arrêter à rechercher si cette supposition peut se concilier de quelque manière avec la rotation de la terre d'occident en orient, et quel serait réellement dans ce cas le mouvement de ce corps, contentons-nous d'observer que si la terre tournait sur elle-même d'orient en occident le mouvement apparent qui en résulterait dans la lune, devrait avoir lieu pour le ciel entier, et le ferait aussi paraître tourner en un mois d'occident en orient, ce qui n'a pas lieu.

Il faut donc, ou que la lune tourne réellement autour de la terre d'occident en orient dans l'espace d'un mois, ou que la terre, tout en tournant en 24 heures sur elle-même d'occident en orient pour produire le mouvement diurne et apparent de tout le ciel, se transporte en outre dans le même sens tout autour de la lune dans l'espace d'un mois pour produire le mouvement de la lune qui nous occupe actuellement.

Il est clair que dans ces deux cas les premières apparences seraient au moins les mêmes.

1°. Si la terre est placée en C, au centre du cercle *e b a d f g* (fig. 39), et si la lune marche réellement de *e* en *b* et de *b* en *a*, la terre verra la lune décrire l'arc *e b a*.

2°. Si la lune en échange est placée en C, et si la terre marche de *d* en *f* et de *f* en *g*, celle-ci en partant du point *d* rapportera la lune en *e*, et en arrivant aux points *f* et *g* elle la rapportera aux points *b* et *a*; ensorte que la terre verra encore la lune décrire l'arc *e b a*.

Pour décider lequel de ces mouvemens est le véritable, il faut étudier mieux la lune, et les phénomènes qu'elle nous présente.

§. 420. Quoique la lune paraisse aplatie, il n'y a personne qui mette en doute sa rondeur;

et il suffit pour s'en convaincre de l'examiner au télescope, surtout quand elle est pleine. Mais les *phases* qu'elle présente, forcent à admettre qu'elle n'est point lumineuse par elle-même, et que si elle nous éclaire ce n'est qu'au moyen de la lumière du soleil qu'elle réfléchit à nos yeux.

Car on sait que la lune après avoir été quelques jours invisible, commence à paraître le soir après le coucher du soleil et fort près de l'horizon occidental, sous la forme d'un croissant, dont les pointes sont opposées au soleil. Les jours suivans, comme elle est avancée vers l'orient, on la voit un peu plus longtems et le croissant qui n'était d'abord qu'un filet de lumière, prend de plus en plus de largeur; et il se trouve enfin tout-à-fait rempli quand la lune s'est écartée du soleil du quart de la sphère céleste. Depuis ce moment jusques à ce que la lune ait fait la moitié de son tour, qu'elle se trouve opposée au soleil, et qu'elle se lève à l'orient quand il se couche à l'occident, la partie lumineuse va en augmentant; enfin l'on aperçoit le disque entier de l'astre. La lune continuant cependant à marcher d'occident en orient, elle se lève toujours plus long-tems après le coucher du soleil; son disque diminue dans le sens opposé; on n'en voit bientôt

bientôt plus que la moitié; et cette moitié ne tarde pas à se changer en un croissant, dont les pointes sont toujours opposées au soleil, et qui bientôt se perd dans ses rayons; ensorte que la lune se levant de nouveau avec le soleil, et passant sur l'horizon en même tems que lui redevient pour quelques jours invisible.

§. 421. On se rendra facilement raison de toutes ces apparences et de toutes ces phases de la lune, si l'on se place à une certaine distance d'un flambeau dans une chambre obscure, et qu'on fasse transporter en rond autour de soi un globe ou une boule; car 1°. quand le globe sera opposé au flambeau, l'observateur en verra toute la partie éclairée, et cela représentera la *pleine lune;* 2°. quand le globe sera entre le flambeau et l'observateur, celui-ci n'en verra point du tout la partie éclairée, et cela représentera la *nouvelle lune;* 3°. quand le globe sera à droite ou à gauche de l'observateur, et à un quadrans de distance des points dont nous venons de parler, l'observateur ne verra d'éclairé qu'environ le quart du globe, et cela représentera la lune *en quartier*, ou les *quadratures;* 4°. enfin, dans les points intermédiaires, la partie éclairée du globe se présentera en forme de *croissant*,

comme la lune dans les positions semblables.

§ 422. Il est facile de voir d'ailleurs que ces phases de la lune auront également lieu, soit que la lune se meuve autour de la terre, soit que la terre se meuve autour de la lune; car dans ces deux cas les mêmes positions respectives de la terre, de la lune et du soleil pourront avoir lieu; et c'est ce que l'on reconnaîtra en arrêtant d'une manière fixe le globe et le flambeau dont nous venons de parler, et en cheminant soi-même autour du globe.

§. 423. Mais ces apparences prouvent au moins que le plan de la courbe que la lune décrit autour de la terre, ou que la terre décrit autour de la lune, va passer par le soleil, ou du moins près du soleil. Nous n'aurions jamais ni la lune pleine, ni la lune nouvelle, si cet astre ne se trouvait pas quelquefois du côté opposé au soleil relativement à nous et quelquefois du même côté que lui.

§. 424. Les *éclipses* prouvent aussi la même chose; car lorsque la lune passe entre le soleil et la terre, si elle se trouve sur la ligne droite qu'on peut supposer menée d'un de ces corps à l'autre, il est bien clair qu'elle doit ou nous cacher le soleil en entier, ou du moins nous en cacher une partie, et c'est ce qu'on appelle une *éclipse de soleil.* De même quand la lune

est opposée au soleil, si elle se trouve sur une même ligne droite avec la terre et le soleil, alors la terre arrête les rayons de lumière qui vont du soleil à la lune, ou du moins une partie de ces rayons; ou en d'autres termes la lune passe dans l'ombre de la terre, et il y a *éclipse de lune*.

Les éclipses prouvent donc, comme les phases, que le plan de la courbe décrite par la lune autour de la terre, ou par la terre autour de la lune, va passer par le soleil ou près du soleil.

§. 425. Mais comme les éclipses n'ont pas lieu dans toutes les nouvelles lunes, ni dans toutes les pleines lunes, et que lorsqu'elles ont lieu elles sont quelquefois *totales*, quelquefois *partielles*, et que leurs apparences varient encore autrement, il en faut conclure que la position respective des trois corps célestes dont nous parlons varie d'une lunaison à l'autre.

Du reste, tenons-nous en pour le moment à cette conséquence que nous avons déduite, soit des phases de la lune, soit des éclipses, c'est que la terre se trouve quelquefois entre la lune et le soleil, et quelquefois opposée au soleil relativement à la lune.

§. 426. Il en résulte que si celle-ci était immobile, et que ce fût la terre qui tournât

autour d'elle dans l'espace d'un mois, il en résulte, dis-je, que la terre serait dans les pleines lunes beaucoup plus près du soleil que dans les nouvelles lunes, et qu'alors le soleil devrait lui paraître plus grand en raison de sa plus grande proximité. Or si l'on mesure, avec des instrumens convenables, le diamètre apparent du soleil dans les nouvelles lunes et les pleines lunes, on ne trouve pas cette différence; d'où il faut nécessairement conclure que ce n'est pas la terre qui tourne autour de la lune, et que c'est au contraire la lune qui chaque mois tourne d'occident en orient autour de la terre. En avançant nous aurons d'autres preuves de cette vérité.

§. 427. Du reste, les taches de la lune, observées avec soin au moyen des télescopes, et dont on a même construit des tables, ont fait voir que la lune ne nous présentait jamais, à peu de chose près, qu'un même côté; d'où il résulte évidemment que la lune tourne sur elle-même d'occident en orient, dans le même espace de tems qu'elle emploie à se transporter d'occident en orient autour de la terre; c'est-à-dire en un mois.

Car, si la lune ne tournait pas sur elle-même, elle nous présenterait successivement ses différentes faces; et la même chose aurait lieu si en

tournant sur elle-même son mouvement de rotation s'achevait en plus ou moins de tems que son mouvement de translation autour de la terre; ou encore si ce premier mouvement ne se faisait pas d'occident en orient.

Pour s'en convaincre, on peut faire transporter autour de soi un globe ou une boule, en représentant par son moyen les différens mouvemens dont nous venons de parler.

§. 428. Nous savons donc déjà que la lune tourne sur elle-même et autour de la terre dans l'espace d'un mois, et cela d'occident en orient, et nous savons que la terre tourne sur elle-même d'occident en orient dans l'espace de 24 heures; mais nous ne savons pas encore si la terre en tournant sur elle-même a aussi un mouvement progressif. C'est ce que nous pourrons peut-être décider bientôt. Observons en attendant que par un effet du mouvement diurne et apparent de tout le ciel, la lune semble faire chaque jour le tour de la terre d'orient en occident, pendant que, par son mouvement propre et réel, elle s'avance d'une certaine quantité d'occident en orient. Il était facile de comprendre que ces deux mouvemens contraires ne pouvaient réellement exister ensemble dans un même corps.

§. 429. Le mouvement d'occident en orient

que nous venons d'observer dans la lune, n'est point, comme le mouvement diurne, commun à tout le ciel. Mais il n'est pas non plus particulier à la lune; il se fait aussi remarquer dans le soleil, et dans quelques étoiles: on connaît une dizaine de corps célestes principaux qui font le tour du ciel d'occident en orient, mais dans des espaces de tems inégaux; et cette circonstance prouve que ce mouvement n'est pas de même nature que le mouvement diurne. Nous allons l'observer d'abord dans le soleil.

§. 430. Si l'on remarque un peu après le coucher du soleil plusieurs belles étoiles voisines de l'occident, et qu'on observe à peu près leur élévation au dessus de l'horizon à une certaine heure, on trouvera que cette élévation sera moindre les jours suivans à la même heure, d'où l'on pourra conclure que le soleil s'est rapproché de ces étoiles, en s'avançant d'orient en occident (§. 417.). Bientôt le soleil continuant d'avancer vers ces étoiles, elles se coucheront en même tems que lui, et l'on observera vers l'horizon, à ce moment-là, d'autres étoiles qui quelque tems auparavant se trouvaient au coucher du soleil beaucoup plus élevées: on reconnaîtra ainsi que chaque jour le soleil paraît s'avancer d'occident en

orient d'environ la 365me partie du ciel; ensorte qu'au bout de 365 jours, ou d'une année, il sera revenu se placer vers les mêmes étoiles auxquelles nous l'avions d'abord comparé, et qu'il s'en trouvera à la même distance.

§. 431. Maintenant ce mouvement ne pouvant être attribué aux étoiles (§. 417.), appartiendra nécessairement au soleil ou à la terre (§. 419.). Ou le soleil fait comme la lune le tour de la terre d'occident en orient, quoique dans un espace de tems plus long, ou la terre fait d'occident en orient le tour du soleil dans une année; car dans l'un et l'autre cas les apparences doivent être les mêmes (§. 419.).

§. 432. N'ayant pas ici pour décider cette question les moyens que nous avons eus relativement au mouvement de la lune (§. 426.), nous attendrons encore pour prononcer à cet égard, que de nouvelles observations viennent nous donner de nouvelles lumières; car nous ne pouvons rien conclure du mouvement de la terre sur elle-même, puisqu'en observant le soleil avec les télescopes, on y a vu des taches au moyen desquelles on est parvenu à déterminer qu'il tournait aussi sur lui-même d'occident en orient dans l'espace d'environ 25 jours. Ainsi donc si l'on peut présumer qu'un corps qui tourne sur lui-même avance

O 4

pour en faire ce que l'on appelle des *constellations*, à chacune desquelles on a donné un nom particulier.

§. 434. En rapportant de jour en jour aux étoiles fixes et aux constellations, la position dans le ciel de la lune, du soleil et des planètes, on a pu reconnaître le cours réel ou apparent de tous ces corps, et l'on a vu, 1°. que le plan de l'*orbite* du soleil, c'est-à-dire de la courbe qu'il décrit ou paraît décrire, était incliné au plan de l'équateur d'un peu plus de 26 degrés, ou d'environ la 15me partie de la sphère céleste; 2°. que les plans des orbites de la lune et des planètes avaient sur le plan de l'orbite du soleil, ou, comme on dit, sur le plan de l'*écliptique* (1), une inclinaison qui variait un peu d'une planète à l'autre, mais qui ne surpassait guères 20 degrés ½, ou qui était à-peu-près de la vingtième partie de la sphère étoilée.

On a alors supposé dans le ciel une bande qui en fait le tour, dont la largeur est d'environ

(1) Les éclipses n'ayant lieu que lorsque le soleil, la terre et la lune se trouvent sur une même ligne droite, ou à-peu-près (§. 424.), et par conséquent dans le plan de l'orbite du soleil ou de la terre, cette orbite a reçu par cela même le nom d'*écliptique*.

la 10[me] partie de la sphère ou d'un peu plus de 41 degrés (1), qui est partagée dans toute sa longueur en deux parties égales par l'écliptique, et qui renferme le cours réel ou apparent de la lune, du soleil et des planètes. Cette bande, hors de laquelle on ne voit jamais aucun de ces corps, a été nommée le *Zodiaque;* et on l'a divisée en douze parties égales, ou en douze *signes*, que le soleil semble parcourir successivement de mois en mois dans l'espace d'une année (2).

Du reste, il résulte de ce que le soleil, la lune et les planètes paraissent se mouvoir, et se mouvoir obliquement à l'équateur, que ces corps se trouvent de jour en jour placés sur

(1) Elle n'avait pas la moitié de cette largeur avant la découverte de la planète de Piazzi, et bientôt il faudra l'élargir de nouveau, parce que la planète d'Olbers est encore plus inclinée à l'écliptique que celle de Piazzi.

(2) Le mouvement diurne a déterminé la longueur du jour; la révolution vraie ou apparente du soleil a déterminé l'année; celle de la lune a déterminé le mois; et l'on a partagé le zodiaque en 12 signes correspondans chacun à peu près au chemin que fait le soleil pendant une révolution entière de la lune.

Les 12 signes du Zodiaque sont: le Bélier, le Taureau, les Gémeaux, le Cancer, le Lion, la Vierge, la Balance, le Scorpion, le Sagittaire, le Capricorne, le Verseau, les Poissons. Son nom vient du mot grec *zoon*, qui signifie *animal*.

différens parallèles à ce cercle, et qu'en les observant à l'horizon on leur voit changer les points de leurs levers et de leurs couchers ; ce que ne font pas les étoiles fixes ; et ce que ne feraient pas le soleil, la lune et les planètes, si leurs orbites se confondaient avec l'équateur.

§. 435. Les planètes offrent quelques phénomènes remarquables ; plusieurs d'entr'elles ont des phases comme la lune, ce qui prouve qu'elles sont opaques et ne brillent que par la lumière qu'elles empruntent du soleil et qu'elles réfléchissent à nos yeux ; plusieurs ont des taches au moyen desquelles on a reconnu qu'elles tournaient plus ou moins vîte sur elles-mêmes, et toujours d'occident en orient.

§. 436. Mais ce qu'il y a de très-remarquable dans les planètes, et qu'on n'observe point ni dans le soleil, ni dans la lune, c'est que les planètes ne paraissent pas toujours marcher d'occident en orient, ou ne sont pas toujours *directes*, quelquefois elles semblent s'arrêter, et sont, comme on dit, *stationnaires*, et quelquefois on croirait qu'elles marchent contre l'ordre des signes, ou d'orient en occident, et on les appelle *rétrogrades*.

Ces phénomènes ont singuliérement embarrassé les anciens astronomes, qui ne savaient trop comment les expliquer ; et nous devons

prévoir que si nous pouvons rendre raison d'une manière simple et naturelle de cette complication apparente de mouvemens dans les planètes, nous aurons ainsi la clef du mouvement du soleil.

§. 437. La plus brillante de toutes les planètes est Vénus, et c'est après Mercure celle qui achève le plus vîte son cours, ou qui revient le plus vîte vers les mêmes étoiles. On remarque d'ailleurs que ces deux planètes ne s'écartent jamais beaucoup du soleil, surtout Mercure. Elles ne se voient que le matin avant le lever du soleil, ou le soir après son coucher, et Vénus qui s'éloigne plus que Mercure du soleil n'en est jamais à une distance guères plus grande que la huitième partie de la sphère entière (1). Suivons-la mieux, et ce que nous dirons d'elle pourra facilement s'appliquer à Mercure.

Imaginons que Vénus soit visible après le coucher du soleil, et dans sa plus grande *digression*, ou à sa plus grande distance apparente de cet astre, il est clair que se couchant

---

(1) La plus grande digression de Vénus est quelquefois d'environ 53 degrés; ce qui fait un peu plus que la huitième partie de la sphère. Celle de Mercure peut aller jusqu'à 31 degrés $\frac{1}{2}$.

alors après lui, elle se lèvera aussi après lui, et passera de jour au méridien, ensorte que nous ne pourrons la voir que le soir, après le coucher du soleil, parce que la grande clarté de cet astre efface à l'ordinaire celle de Vénus, comme elle efface celle des étoiles fixes. Vénus à sa plus grande distance du soleil paraîtra quelque tems en repos ou stationnaire ; mais bientôt elle sera rétrograde et semblera se rapprocher du soleil, ou marcher d'orient en occident (1), en se couchant par conséquent toujours de meilleure heure. Ayant ainsi joint le soleil, elle se couchera et se lèvera avec lui, et cessera d'être visible. Mais continuant d'avancer d'orient en occident, elle dépassera le soleil pour se coucher et se lever avant lui ; et tout comme elle était avant cela *étoile du soir*, elle sera alors *étoile du matin*. Parvenue à sa plus grande digression occidentale, on la verra de nouveau stationnaire, puis bientôt directe ; elle se rap-

---

(1) Il est facile de comprendre qu'il s'agit ici du mouvement propre de la planète et non du mouvement diurne commun à tout le ciel. On doit comprendre aussi que nous faisons abstraction du mouvement du soleil d'occident en orient qui contribue à rapprocher cet astre de la planète tant qu'elle est à son orient., et soit qu'elle s'éloigne de lui comme nous le disions il y a un moment, soit qu'elle vienne à lui comme nous le supposons à présent.

prochera donc alors du soleil en marchant d'occident en orient, le dépassera, et reviendra enfin au point que nous avions considéré comme son point de départ.

Mercure présente des phénomènes semblables; mais, comme nous l'avons déjà dit, il s'écarte beaucoup moins du soleil et revient plus vîte vers les mêmes étoiles.

§. 438. Du reste, les lunettes ont fait voir que Mercure et Vénus avaient des phases comme la lune: quand ces planètes sont à l'orient du soleil, et qu'elles paraissent le soir, leur disque va sans cesse en diminuant; quand elles sont à l'occident du soleil, et qu'elles paraissent le matin, leur disque va sans cesse en augmentant; il est en quartier dans leurs plus grandes digressions à gauche et à droite du soleil; enfin quand ces planètes ont joint le soleil, qu'elles sont en *conjonction* avec lui, c'est-à-dire que leur situation est pour nous ou exactement ou à peu près la même que celle de cet astre, il arrive de trois choses l'une, ou on ne les voit point du tout, ou on voit leur disque entier et plein, soit au dessus, soit au dessous du soleil, ou enfin on les voit sur le soleil même, qu'elles éclipsent en quelque sorte. Dans ce dernier cas, on observe sur le disque du soleil une tache noire

et ronde qui traverse ce disque d'orient en occident, en décrivant une corde un peu plus ou un peu moins voisine du centre, et dans un espace de tems un peu plus ou un peu moins long.

Tous ces phénomènes prouvent évidemment que Mercure et Vénus sont des corps opaques qui tournent autour du soleil à des distances plus petites que celle de la terre; en conséquence de quoi on a nommé ces planètes *planètes inférieures*.

On comprendra très-bien que si nous sommes en *P* (fig. 43), que le soleil soit en *s*, et qu'une planète décrive le cercle *a b c d e f*, dans le sens indiqué par ces lettres, il en résultera les apparences suivantes : 1°. la planète étant en *f*, dans sa *conjonction supérieure*, sera derrière le soleil, et nous ne la verrons point du tout, à moins que ce point *f* ne soit un peu au dessus ou un peu au dessous du soleil; dans ce cas tout ce que nous verrons de la planète sera éclairé et nous appercevrons son disque entier. 2°. La planète allant de *f* en *c*, et sa partie éclairée étant toujours tournée vers le soleil, nous n'en appercevrons qu'une portion, qui deviendra de plus en plus petite. 3°. La planète étant en *c*, dans sa *conjonction inférieure*, nous présentera sa partie obscure,

et nous la verrons sur le soleil si elle est dans la même direction que lui, ou nous ne la verrons point si elle est un peu au dessus ou un peu au dessous. 4°. La planète allant de *c* en *f*, et sa partie éclairée étant toujours tournée vers le soleil, nous en appercevons une portion qui deviendra de plus en plus grande. 5°. Aux environs des points *a* et *e*, la planète sera en quartier. 6°. Quand la planète ira de *a* en *b*, et de *d* en *e*, elle semblera stationnaire, parce que nous la verrons alors sensiblement dans la même direction *Pba* ou *Pde*. 7°. Quand la planète décrira l'arc *efa* elle sera directe; mais quand elle décrira l'arc *bcd* elle sera rétrograde, parce qu'elle semblera marcher en sens contraire de son premier mouvement; ce sera pour nous comme si après avoir fait le chemin *esa* elle rebroussait par *ase*.

§. 439. Vénus et Mercure paraissant tantôt à droite, tantôt à gauche du soleil, sans jamais s'en écarter beaucoup, il est clair que ces corps ne font proprement le tour entier du ciel d'occident en orient, relativement à nous, qu'en accompagnant le soleil, qui fait lui-même ce tour dans un an, ou paraît du moins le faire.

Du reste, on a observé que Mercure employait environ trois mois à décrire son orbite autour du soleil, et Vénus environ 7 mois $\frac{1}{2}$.

Ensorte

Ensorte que Mercure fait quatre révolutions autour du soleil avant d'achever relativement à nous le tour entier du ciel; et que Vénus, dans les mêmes circonstances, en fait une et demie.

§. 440. Quant à Mars, Piazzi, Jupiter, Saturne et Herschel, ces planètes s'écartent autant que possible du soleil, elles en sont souvent éloignées d'une demi-circonférence de grand cercle, et jamais on ne les voit passer sur le disque de cet astre; ensorte que leur cours embrasse sans aucun doute le soleil et la terre, qui se trouvent ainsi l'un et l'autre dans l'intérieur des orbites de ces planètes. C'est pourquoi elles ont été nommées *supérieures*.

§. 441. Du reste, on a observé que Mars employait environ 1 an 11 mois pour achever sa révolution autour du soleil, Piazzi 4 ans 7 mois, Jupiter 11 ans 10 mois, Saturne 29 ans 5 mois, et Herschel 83 ans 9 mois.

§. 442. En voyant que la lune, le corps céleste sans doute le plus voisin de la terre, puisqu'il éclipse, non-seulement le soleil, mais encore les étoiles fixes et les planètes, en voyant dis-je que la lune achevait sa révolution autour de la terre dans l'espace d'un mois, on a cru pouvoir en conclure que plus un corps était voisin de celui autour duquel il tournait, plus

il achevait promptement sa révolution, ne fût-ce que parce qu'il avait moins d'espace à parcourir; et que réciproquement plus la révolution de ce corps était prompte, moins il était éloigné. D'après cette idée la planète la plus voisine du soleil serait Mercure, puis viendrait Vénus, et parmi les planètes supérieures, la moins éloignée de nous et du soleil serait Mars, et l'on trouverait ensuite Piazzi, Jupiter, Saturne et Herschel.

§. 443. Mars, en conséquence de sa proximité, nous montre encore quelques phases, qui prouvent qu'il est opaque; on le voit en quartier dans ses plus grandes digressions; mais comme le cours de cette planète enferme la terre, et qu'elle ne passe jamais au devant du soleil, elle ne nous présente jamais sa partie obscure.

§. 444. Jupiter, Saturne et Herschel, sont trop éloignés de nous pour nous paraître jamais en quartier, parce qu'ils ne nous présentent guères que leur moitié éclairée, ou à peu près. Cependant ces corps ne ressemblent point aux étoiles fixes, qui par la *scintillation* de leur lumière annoncent être des corps lumineux par eux-mêmes, ou des soleils placés sans doute à une grande distance de nous. Les planètes en général ont une lumière calme et

tranquille semblable à celle de la lune, et qui témoigne que ces corps ne brillent point par eux-mêmes.

§. 445. Tout cela posé, revenons au mouvement du soleil d'occident en orient; ou ce mouvement est réel et appartient au soleil lui-même, ou il n'est qu'apparent et doit être attribué à la terre (§. 431.).

§. 446. Mais si la terre se meut simplement sur son axe, et que son centre ne se déplace point, on ne peut expliquer les stations et les rétrogradations des planètes supérieures, sans recourir à des expédiens inadmissibles et à des suppositions forcées.

Tandis qúe si la terre, en tournant sur elle-même d'occident en orient dans l'espace de 24 heures, se transporte dans le même sens tout autour du soleil dans une année, les phénomènes dont nous parlons s'expliquent de la manière la plus facile et la plus simple.

Pour rendre cela très-sensible, nous ferons différentes suppositions.

§. 447. 1°. Si la terre était immobile (1) dans l'intérieur de l'orbite d'une planète et hors du centre de cette orbite, il est clair que nous ne jugerions pas différemment du mouvement de

(1) Nous faisons abstraction du mouvement diurne.

cette planète que nous n'en jugerions si nous étions placés au centre de son orbite ; car nous rapporterions également la planète à la voûte azurée, dont notre œil occupe toujours le centre (§. 388.).

Par conséquent si la planète marchait réellement d'occident en orient, nous jugerions bien de ce mouvement, et la planète serait toujours directe.

§. 448. 2°. Si le soleil était en *S* (fig. 42), la terre en *a*, et une planète supérieure en *a'*, et si ces deux derniers corps se mouvaient l'un et l'autre d'occident en orient, ou de gauche à droite, autour du premier, et décrivaient par supposition leur orbite dans le même espace de tems, il est clair que quand la terre serait parvenue en *b*, la planète serait en *b'*, et la terre qui dans la première position voyait la planète dans la direction *aa'*, la verrait alors dans la direction *bb'*; de même quand la terre serait en *c* la planète serait en *c'*, et la terre verrait la planète dans la direction *cc'*, etc. etc. Ensorte que la terre voyant successivement la planète dans les directions *aa'*, *bb'*, etc., qui ne sauraient se croiser au delà de l'orbite *a' b' c'*, puisqu'elles se réunissent au centre, la planète, dans ce cas encore, serait toujours directe.

§. 449. 3°. Si la terre tournait autour du

soleil *S* (fig. 43), la planète supérieure P étant supposée immobile, il est clair que pendant que la terre marcherait de *a* en *b* et serait sensiblement sur la tangente menée du point *P* à l'orbite terrestre, la planète serait vue dans une même direction *ab Pm* et paraîtrait stationnaire; que quand la terre serait en *c*, la planète serait vue dans la direction *c Pn;* que quand la terre serait en *d* la planète serait vue dans la direction *dPo;* ensorte que la terre en allant de *b* en *d* aurait vu la planète aller de *m* en *o*, c'est-à-dire de droite à gauche, ou d'orient en occident, et par conséquent rétrograder. Alors la terre se trouvant pendant son trajet de *d* en *e* sensiblement sur la tangente *edPo*, la planète, vue dans cette direction, lui paraîtrait de nouveau stationnaire. Enfin la terre étant parvenue en *f*, et de là en *a*, verrait la planète d'abord en *n* et ensuite en *m;* c'est-à-dire que pendant que la terre aurait décrit *efa*, la planète aurait paru décrire *onm*, et par conséquent aurait été directe.

§. 450. Mais il faut faire à cet égard plusieurs observations; et d'abord, il est évident que le mouvement apparent de notre planète de droite à gauche et de gauche à droite ne saurait être uniforme, lors même qu'on voudrait supposer tel celui de la terre; car nous avons

vu que ce mouvement semblait à peu près nul tant que la direction de la terre était sensiblement la même que celle du rayon visuel mené à la planète ; et l'on comprend que la terre étant aux environs des points *c* et *f*, où la direction de son mouvement est presque perpendiculaire à celle du rayon visuel, la vîtesse apparente de la planète doit en général paraître alors plus grande que lorsque la terre sera dans les points intermédiaires, où sa direction est décidément oblique au rayon visuel. On comprend encore que la terre allant de *b* en *c*, ou de *e* en *f*, la vîtesse de la planète sera accélérée, et que la terre allant de *c* en *d*, ou de *f* en *a*, la vîtesse de la planète sera retardée. Enfin l'on comprend que la terre mettant plus de tems à décrire l'arc *efa* que l'arc *bcd*, parce que le premier est plus grand que le second, la planète ira plus doucement de *o* en *m* que de *m* en *o*.

§. 451. Il faut observer ensuite, que dans notre supposition actuelle la planète ne paraîtra point faire le tour entier du ciel; mais qu'elle semblera seulement décrire, de droite à gauche et de gauche à droite, un arc, qui sera d'autant plus petit que la planète sera plus éloignée de la terre, et d'autant plus grand qu'elle en sera plus rapprochée ; toutes choses égales d'ailleurs.

§. 452. 4°. Enfin, si la terre et la planète supérieure tournent toutes deux autour du soleil, mais dans des espaces de tems différens, et si la planète achève sa révolution moins vîte que la terre n'achève la sienne, voici les apparences qui doivent résulter de cela.

Supposons que la terre décrive avec un mouvement uniforme son orbite *ambn* (fig. 44), et la planète la sienne $a'b'c'd'e'f'$ etc., et que leurs vîtesses soient telles que pendant que la terre fait une demi-révolution et va de *a* en *b*, la planète ne parcoure que l'arc $a'b'$; puis considérons la terre plusieurs fois de suite aux points *a* et *b*, et la planète aux points a', b', c', d', *etc.*

Si la terre est en *a* et la planète en a', la terre verra la planète suivant la direction $aa'1$, et la rapportera au point 1 dans le ciel des étoiles fixes; la terre étant arrivée en *b* et la planète en b', la terre verra la planète suivant la direction $bb'2$, et la rapportera au point 2 dans le ciel des étoiles fixes. En supposant la terre revenue au point *a* après une révolution entière, puis retournée au point *b*, et ainsi de suite, tandis que la planète se trouve successivement aux points c', d', e', *etc.*, la terre verra la planète suivant les directions $ac'3$, $bd'4$, $ae'5$, etc., et la rapportera aux points

3, 4, 5, etc. dans le ciel des étoiles fixes. Or il est clair que la planète n'a pas pu aller du point 1 au point 2, du point 3 au point 4, du point 5 au point 6, etc. sans être rétrograde, et qu'elle n'a pu aller du point 2 au point 3, du point 4 au point 5 etc. sans être directe. Et quoiqu'il ne soit pas dit que les points 1, 2, 3, 4, etc. soient les points de station, il est évident que la planète n'a pu de directe devenir rétrograde et de rétrograde directe, sans passer par des points intermédiaires où elle n'était ni directe, ni rétrograde, mais stationnaire.

On observera que malgré l'uniformité supposée du mouvement de la terre et de celui de la planète, le mouvement apparent de cette dernière vue de la terre, ne pourra être uniforme ni dans un sens, ni dans l'autre, et cela soit à cause de ce que nous avons dit au §. 450, soit à cause du mouvement propre de la planète.

On observera encore que le mouvement propre de la planète diminuant l'étendue de la rétrogradation tandis qu'il augmente celle de la direction, la planète avance plus qu'elle ne recule et qu'elle parvient ainsi à faire le tour du ciel d'occident en orient.

On observera en troisième lieu qu'il serait

très-facile de représenter, d'après ces mêmes principes, et dans l'hypothèse du mouvement de la terre, le phénomène des stations et des rétrogradations des planètes inférieures; phénomène que nous avons du reste déjà expliqué pour le cas même de l'immobilité de la terre (§. 438.).

On observera enfin qu'il y aurait peu à changer à tout ce que nous venons de dire, s'il arrivait que le mouvement propre, soit de la terre, soit des planètes, fût en lui-même variable, au lieu d'être uniforme comme nous l'avons supposé pour plus de simplicité.

§. 453. Ainsi donc, le mouvement apparent des planètes nous force d'admettre le mouvement de la terre autour du soleil d'occident en orient dans l'espace d'une année, plutôt que le mouvement du soleil autour de la terre.

Voici d'après cela quel est l'arrangement des corps célestes.

§. 454. Le soleil peut être considéré comme placé au centre du monde; il tourne sur lui-même en 25 jours (§. 432.), et il est possible qu'il ait aussi un mouvement progressif; mais nous n'en sommes pas sûrs.

Autour du soleil tournent les planètes, toutes d'occident en orient, à peu près dans le même plan, et dans l'ordre suivant: Mercure, Vénus,

la terre avec la lune, Mars, Piazzi, Jupiter, Saturne et Herschel.

Je mets la terre au rang des planètes, puisqu'elle tourne comme elles autour du soleil, et qu'elle est un corps opaque qui reçoit et réfléchit la lumière de cet astre.

§. 455. Mais j'ai dit la terre avec la lune, parce que la lune ne tourne autour du soleil qu'en tournant autour de la terre qu'elle n'abandonne jamais.

Remarquons à cette occasion qu'on nomme *planètes principales* celles qui tournent immédiatement autour du soleil, et *planètes secondaires*, ou *satellites*, celles qui comme la lune sont assujetties aux planètes principales. Ainsi la lune est satellite de la terre; Mercure, Vénus, Mars, et à ce qu'il paraît Piazzi, sont privés de satellites; mais Jupiter, Saturne et Herschel, en ont chacune plusieurs que les lunettes ont fait découvrir. Jupiter en a quatre, Saturne sept et Herschel six. Ce sont autant de petites lunes, qui tournent en plus ou moins de tems autour de leur planète principale, et font ainsi plusieurs révolutions autour d'elle pendant qu'elles sont entraînées à sa suite autour du soleil.

§. 456. Saturne outre qu'il a ses satellites est d'ailleurs environné de deux anneaux concen-

triques, ou d'un double anneau, que les lunettes ont fait découvrir, et qui tourne aussi sur lui-même et dans son propre plan, à peu près comme une roue tourne autour de son axe ou de son essieu. On l'a représenté dans la figure 45.

§. 457. La rotation de Mercure, celle de Piazzi et celle d'Herschel, ne sont point connues; mais Vénus, la terre et Mars tournent sur elles-mêmes à peu près dans le même espace de tems; c'est-à-dire en 24 heures. Jupiter, Saturne et son anneau, ont un mouvement de rotation très-prompt, et d'environ 10 heures. Nous avons déjà dit, et nous le répéterons encore, que soit le mouvement de rotation, soit le mouvement progressif du soleil, des planètes et de leurs satellites, se fait dans le même sens, c'est-à-dire d'occident en orient, et presque dans le même plan.

§. 458. Les *comètes*, que l'on a reconnues être des corps opaques comme les planètes, tournent aussi autour du soleil; mais dans toutes sortes de directions possibles, c'est-à-dire que les unes vont d'orient en occident, d'autres d'occident en orient, d'autres du nord au sud, ou du sud au nord, etc. etc. Dailleurs la courbe qu'elles décrivent autour du soleil ne saurait être ni un véritable cercle, ni une

courbe à peu près circulaire; car elles sont quelquefois très-près de cet astre, et c'est alors que nous les voyons; d'autres fois elles s'en éloignent tellement qu'elles échappent absolument à nos regards. Leur nombre est inconnu, mais il paraît être très-considérable; et leurs retours périodiques n'ont lieu qu'à des époques fort éloignées les unes des autres, comme de 75, 130, 290 ans, etc.

Quelques comètes sont accompagnées de queues brillantes ou de chevelures dont elles ont tiré leur nom; mais elles n'en ont pas toutes, et l'on ne sait trop à quoi il faut les attribuer, ni quelle est leur nature. C'est au moins une matière très-fluide et très-subtile; peut-être leur atmosphère; peut-être une portion de l'atmosphère du soleil.

§. 459. Le soleil, les planètes, leurs satellites et les comètes, composent ce que l'on nomme notre sytème solaire. Les étoiles fixes, placées apparemment à de beaucoup plus grandes distances, paraissent être des corps lumineux par eux-mêmes; et sans doute autant de soleils qui peut-être éclairent aussi un certain nombre de planètes et de comètes, et ont ainsi leurs systèmes, comme notre soleil a le sien.

§. 460. Il se présente cependant une objection contre le mouvement annuel de la terre;

car, si la terre décrit une orbite autour du soleil et occupe ainsi successivement différens points dans l'espace, comment arrive-t-il que le mouvement diurne des étoiles soit sensiblement le même pendant toute l'année; que les mêmes étoiles décrivent chaque jour les mêmes cercles, sans changer ni le lieu de leur lever, ni le lieu de leur coucher; et que les pôles de la terre répondent constamment aux mêmes points du ciel?

§. 461. En y réfléchissant on comprendra que cette difficulté ne peut se résoudre qu'en supposant les étoiles fixes placées à une distance de nous prodigieusement grande relativement à l'espace que la terre parcourt dans une année.

Mais pour prouver que cette supposition n'est pas gratuite, essayons de déterminer les distances des différens corps célestes, et prenons d'abord une idée de la manière de trouver sur la terre l'éloignement des objets inaccessibles.

§. 462. Supposons, par exemple, qu'on veuille savoir combien il y a de mètres de *A* en *O* (fig. 46), sans mesurer la ligne *A O*.

On prendra à une certaine distance de *A*, hors de la ligne *A O*, un point *B*, depuis lequel on puisse voir *A* et *O*, et sur un terrain

qui permette de mesurer la distance *A B*. On placera en *A* le centre d'un cercle divisé en degrés et portant deux diamètres, dont un au moins sera mobile sur le centre du cercle. On dirigera l'un de ces diamètres vers *B* et l'autre vers *O*, et l'on comptera de combien de degrés les diamètres seront alors écartés l'un de l'autre; en d'autres termes on mesurera l'angle *A* (§. 379. 380.). On ira de même mesurer en *B* l'angle *A B O*. Enfin l'on mesurera la ligne droite *A B*. Cela posé, on tracera sur le papier une ligne droite *a b* qui contienne autant de parties d'une échelle prise à volonté qu'il y a de mètres de *A* en *B* sur le terrain; on mènera ensuite les lignes *a o* et *b o* de manière à ce qu'elles fassent en *a* et *b* des angles égaux aux angles *A* et *B* qu'on a mesurés sur le terrain; ces lignes se rencontreront d'elles-mêmes en un point *o*, et l'on aura sur le papier un petit triangle *a b o*, qui aura la même forme que le triangle *A B O*.

Ce petit triangle ayant la même forme ou la même figure que le grand, ou lui étant, comme on dit, *semblable*, on comprendra facilement que ses côtés auront entr'eux la proportion de grandeur qui existe entre les côtés du grand triangle. Si, par exemple, *A B* est la moitié, ou les deux tiers de *A O*, *a b* sera

aussi la moitié, ou les deux tiers de *a o*, et ainsi de suite.

Or comme il y a dans *A B* autant de mètres qu'il y a de parties de l'échelle dans *a b*, il y aura dans *A O* autant de mètres qu'il y aura de parties de l'échelle dans *a o;* mesurant donc *a o* avec l'échelle, on aura la valeur de *A O* en mètres.

§. 463. Il faut observer 1°. que les deux angles *a* et *b* étant égaux aux deux angles *A* et *B*, le troisième *o* est égal au troisième *O*. Il est bien clair que cela ne peut être autrement puisque les deux triangles ont la même forme ou la même figure. D'ailleurs on démontre en géométrie que les trois angles d'un triangle quelconque valent toujours ensemble deux angles droits (§. 254); d'où il résulte que si deux angles d'un triangle sont égaux à deux angles d'un autre triangle, le troisième est aussi égal dans les deux, ou que si l'on connaît deux angles dans un triangle, on en peut déduire sur le champ le troisième.

§. 464. Il faut observer 2°. que l'on définit les *triangles semblables*, ceux qui ont leurs angles égaux chacun à chacun; et que les côtés opposés aux angles égaux dans les deux triangles, sont nommés *côtés homologues;* ainsi *A B* et *ab*, *A O* et *ao*, *B O* et *bo* sont les côtés

nomme *parallaxe* (1) de l'objet O, l'angle COD formé par les prolongemens des lignes AO et BO menées à l'objet des points A et B, ou son opposé AOB, formé par la rencontre de ces mêmes lignes à l'objet avant leur croisement; car ces deux angles sont égaux et peuvent être pris l'un pour l'autre.

§. 467. Il est bien clair d'ailleurs que plus l'objet sera éloigné, la distance AB restant la même, plus sa parallaxe sera petite; en effet, si nous sommes en A à la surface de la terre, et qu'observant un objet O, élevé d'une certaine quantité au dessus de l'horizon, nous avancions de A en B, il est clair que l'objet O, que nous avions d'abord devant nous, et que nous apercevions par la ligne AO, se trouvera alors derrière nous, et que nous le verrons par la ligne BO faisant avec la ligne AO un angle BOA d'une grandeur bien sensible.

Si l'objet, au lieu d'être en O, était en O', c'est-à-dire si on le supposait plus élevé qu'il ne l'était d'abord, mais qu'il fût pourtant dans la même direction AOC, qu'il répondît au même point du ciel, ou qu'il

---

(1) Ce mot vient du grec *parallaxis* qui signifie *différence*; la parallaxe est la différence de position d'un objet vu de deux lieux différens.

nous cachât si l'on veut la même étoile, il est clair que parvenus en *B* il ne nous paraîtrait pas aussi reculé que dans le premier cas, et que la ligne *B O'* ferait avec la ligne *A O C* un angle *B O' A* plus petit que l'angle *B O A* (§. 380.).

En supposant ainsi l'objet toujours plus élevé et placé successivement aux points *O*, *O'*, *O''*, etc., dans une même direction *A O C*, on verra que du point *B*, il nous paraîtra d'autant moins reculé qu'il sera plus éloigné de nous, qu'alors les lignes *B O*, *B O'*, *B O''*, etc., feront avec la ligne *A C* des angles *B O A*, *B O' A*, *B O'' A*, etc., ou *C O D*, *C O' D'*, *C O'' D''*, etc., qui deviendront de plus en plus petits (§. 380.), et que les points *D*, *D'*, *D''*, etc., que nous supposons plus éloignés que le dernier point *O''*, s'approcheront de plus en plus du point *C*, pris aussi au delà du dernier point *O''*.

Ensorte que si l'objet est extrêmement éloigné, quoique toujours sur la ligne *A C*, l'angle formé par cette ligne avec celle qu'on tirera du point *B* à l'objet sera extrêmement petit, et comme nul, et l'objet vu des deux points *A* et *B* répondra sensiblement au même point *C*.

Or c'est précisément parce qu'un objet vu

de deux lieux donnés a une parallaxe d'autant plus petite qu'il est plus éloigné, que la grandeur de cette parallaxe peut nous faire juger de sa distance, comme nous le verrons bientôt.

§. 468. Tout cela posé, comme nous changeons de lieu dans l'espace, soit à cause du mouvement annuel de la terre, soit à cause de son mouvement diurne, soit à cause des courses et des voyages que nous faisons à sa surface, il en doit résulter, relativement aux corps célestes qui ne sont pas trop éloignés, différentes parallaxes dont les effets se compliquent et qu'il serait intéressant de connaître.

Mais, quant aux planètes, comme elles se meuvent aussi pendant que nous sommes en mouvement, il faut les saisir dans un moment donné, et voyant le lieu où nous les rapportons à ce moment-là juger du lieu où nous les rapporterions si nous occupions dans l'instant même une autre place.

§. 469. Supposons, par exemple, que nous ayons beaucoup observé le soleil pour juger de son mouvement annuel, ou plutôt du mouvement annuel de la terre, et que nous sachions ainsi non-seulement le tems que la terre emploie à faire le tour du ciel, mais encore quel arc de son orbite elle décrit chaque jour, que ces arcs soient égaux ou inégaux; d'après

cette supposition, nous pourrons indiquer pour chaque moment de l'année à quel point du ciel répondra le soleil S vu de la terre T (fig. 47), et par conséquent à quel point du ciel répondra la terre T vue du soleil S.

Supposons ensuite que nous ayons beaucoup observé une planète P pour juger aussi de son mouvement journalier, nous pourrons de même indiquer le point du ciel où elle se trouverait répondre si elle était vue depuis le soleil dans un moment donné. Les observations qui servent surtout à cette détermination sont celles qui ont lieu lorsque le soleil, la terre et la planète se trouvent sur une même ligne droite, ou à peu près, comme en S, R et L, parce qu'alors la planète vue de la terre, ou vue du soleil, répond au même point M.

Sachant donc que dans le moment actuel le
voit la terre dans la direction STK et
ète dans la direction SPO, nous avons
leur de l'angle KSO ou TSP, que l'on
l'angle de *commutation*. Observant d'ail-
lanète, et la voyant dans la direction
endant que le soleil la voit, comme
ns de le dire, dans la direction SPO,
l'inclinaison des lignes TPN, SPO,
eur de l'angle NPO, égal à TPS;

c'est cet angle que l'on nomme la *parallaxe annuelle* de la planète, et qui varie du reste suivant la position des trois corps.

Connaissant ainsi la valeur de deux des angles du triangle *TPS*, on aura aussi la valeur du troisième angle *STP* (§. 463.), qu'on nomme *l'élongation;* et par conséquent on déterminera le rapport des côtés *ST*, *SP*, ou de la distance de la terre et de la planète au soleil (§. 465.).

Faisant la même chose pour toutes les planètes, on aura les rapports de leurs distances au soleil; ensorte que si l'on parvient à déterminer une de ces distances en myriamètres, on aura aussi la valeur des autres.

§. 470. Képler calculant ainsi la distance des planètes au soleil dans différens points de leurs orbites, trouva non-seulement que la même planète n'était pas dans tout son cours à la même distance du soleil, mais encore que les rapports de ces distances donnaient à la courbe décrite par les planètes autour du soleil la figure d'un ovale ou d'une ellipse, et non celle d'un cercle.

Si l'on attache un fil *FMf* (fig. 48) par ses deux extrémités à deux points fixes *F* et *f*, et que tenant toujours ce fil tendu au moyen d'un crayon *M*, on fasse tourner ce crayon

autour des points F et f, il décrira une courbe $AbaB$, qu'on appelle une *ellipse*, et qui se rapprochera d'autant plus de la figure circulaire que les points F et f seront plus rapprochés relativement à la longueur du fil. Les points F et f s'appellent les *foyers* de l'ellipse, le point C pris à égale distance des foyers sur la ligne qui les joint, s'appelle le *centre*, la ligne Aa s'appelle le *grand axe*, la ligne Bb perpendiculaire au grand axe et qui, passant par le centre, se termine de part et d'autre à la courbe, s'appelle le *petit axe*, la distance FC, ou fC du foyer au centre s'appelle *l'excentricité*, et les lignes FM, fM, se nomment les *rayons vecteurs*.

Képler découvrit donc que les planètes décrivaient autour du soleil, non des cercles, mais des ellipses, à l'un des foyers desquelles était placé le soleil.

471. Les planètes décrivent d'ailleurs leurs
s avec des vîtesses inégales ; le soleil
ait en F, c'est quand la planète est en A,
sa plus grande proximité du soleil, ou
son *périhelie*, qu'elle a la plus grande
; c'est quand elle est en a, à sa plus
e distance, ou dans son *aphélie*, que sa
s est la plus petite ; enfin c'est aux points

B et *b*, dans sa distance moyenne, que la planète a une vîtesse moyenne.

Il résulte de cette inégalité de vîtesse que si dans une minute la planète a parcouru un certain arc de son orbite, les arcs qu'elle parcourra dans la seconde minute, dans la troisième minute, etc., iront en augmentant ou en diminuant, et que les arcs parcourus ne seront point proportionnels aux tems employés à les parcourir.

Képler découvrit encore à cet égard une chose importante; il vit que si l'on comparait entr'eux, non les arcs *n o*, *p q*, compris entre les rayons vecteurs *F n*, *F o* et *F p*, *F q*, menés du soleil aux points *n*, *o*, *p*, *q*, de l'orbite, mais les surfaces ou les aires comprises entre ces arcs et les rayons vecteurs, il vit, dis-je, qu'en tems égaux, ces aires étaient égales, et qu'en général les aires étaient proportionnelles aux tems.

Pour mieux saisir cela, on se rappellera que la planète va d'autant plus vîte qu'elle est plus près du point A, ensorte que si elle décrit dans une minute l'arc *n o*, à une certaine distance du point A, elle décrira dans le même espace de tems un arc *p q*, plus petit que *n o*, lorsqu'elle sera à une plus grande distance du point *A*. Il en résulte que la plus grande

dimension *n o* de l'espace *n Fo* compense la plus grande dimension *Fp* de l'espace *p F q*, et que la surface ou l'aire de ces deux espaces se trouve égale, si les arcs *n o*, *pq*, ont été décrits dans des tems égaux, comme nous le supposons.

§. 472. Enfin, Képler ayant trouvé les rapports des distances des planètes au soleil, et connaissant d'ailleurs les tems de leurs révolutions autour de cet astre, il découvrit que le carré du tems de la révolution d'une planète quelconque est au carré du tems de la révolution d'une autre planète, comme le cube (1) de la distance moyenne de la première de ces planètes au soleil est au cube de la distance moyenne de la seconde de ces planètes au même astre.

§. 473. Ces découvertes de Képler sont considérées comme autant de lois de la nature, et peuvent s'énoncer ainsi.

PREMIÈRE LOI. *Les orbites des planètes sont*

---

(1) Nous avons dit qu'on appelait *carré* d'un nombre le produit de ce nombre multiplié par lui-même (§. 348); nous ajouterons ici que le *cube* d'un nombre est le produit de ce nombre multiplié deux fois de suite par lui-même; ainsi *un* est le cube de *un*, *huit* est le cube de *deux*, *vingt-sept* est le cube de *trois*, et ainsi de suite.

des ellipses, dont un des foyers est au centre du soleil.

SECONDE LOI. Les planètes décrivent ces ellipses avec des vîtesses telles que les aires sont proportionnelles aux tems.

TROISIÈME LOI. Les carrés des tems des révolutions des planètes sont entr'eux comme les cubes de leurs distances moyennes au soleil.

§. 474. Il faut observer que quoique cette dernière loi ait été déduite des observations de Képler sur les distances respectives des planètes au soleil, on la considère comme donnant des résultats plus exacts que les observations mêmes; et l'on voit bien que si l'on avait la distance d'une planète au soleil exprimée en myriamètres, la loi donnerait les distances des autres planètes.

Essayons donc si nous ne pourrions point découvrir la distance absolue de la terre au soleil ou du soleil à la terre. Il faut pour cela observer une parallaxe d'une autre espèce que la parallaxe annuelle dont nous avons parlé.

§. 475. Supposons l'œil d'un observateur en O (fig. 49), près de la surface de la terre, et un astre en A dans le plan de l'horizon OR de cet observateur; cet astre sera vu du point O dans la direction OAR, tandis que du centre T de la terre, il serait vu dans la

direction *TAD*; or l'inclinaison des deux lignes *OAR*, *TAD*, mesurée par l'angle *DAR*, ou par son égal *OAT*, s'appelle la *parallaxe horizontale* de l'astre *A*.

Si l'astre au lieu d'être à l'horizon est entre le zénith et l'horizon, par exemple en *E*, alors l'angle *GEF*, ou *TEO* se nomme la *parallaxe de hauteur* de cet astre.

Il est facile de voir 1°. que plus l'astre sera éloigné de la terre plus sa parallaxe horizontale sera petite, de même que sa parallaxe de hauteur (§. 467.).

Il est facile de voir 2°. qu'au zénith *Z*, la parallaxe est nulle, et qu'elle va en augmentant depuis ce point jusqu'à l'horizon, lors même que la distance de l'astre est supposée la même.

Il est facile de voir 3°. que si l'on connaît l'angle A dans le triangle *TOA*, on en peut déduire la valeur des autres angles, parce que l'angle *TOA* est droit, la ligne *ZOT* étant perpendiculaire à l'horizon (§. 463). Ensorte que si l'on a en même tems la grandeur absolue du rayon *TO*, on peut résoudre le triangle, et trouver la grandeur absolue de la ligne *TA* distance de l'astre au centre de la terre (§. 462.).

§. 476. Or, quand les phénomènes que l'on

observe dans le ciel, se voient aux mêmes heures, dans deux lieux différens, à la surface de la terre, on en conclut que ces lieux ont midi en même tems, et qu'ils sont sous le même méridien. Remarquant alors quel point du ciel répond exactement au dessus de chacun de ces lieux, on sait combien il y a de degrés du méridien céleste entre leurs deux zéniths; ou combien il y a de degrés du méridien terrestres entre les lieux mêmes; mesurant donc en effet la distance de ces lieux sur la terre, on connaît la valeur du degré en myriamètres, puis celle du méridien entier, puis celle du rayon de la terre, puis la grandeur de sa surface, puis son volume, etc.

D'un autre côté, lorsque deux observateurs placés sous un même méridien, à la surface de la terre, et à une assez grande distance l'un de l'autre, ont observé chacun la hauteur méridienne d'un même astre dans le lieu où ils sont, et qu'ils ont tenu compte du moment où ils ont fait cette observation, on peut, par des méthodes que nous ne saurions expliquer ici, déduire de là, et la parallaxe de hauteur de l'astre pour chacun des lieux en question, dans un même moment, et sa parallaxe horizontale.

Résolvant ensuite le triangle *OTA*, on a, comme nous l'avons dit, la distance absolue de l'astre.

distances donnent les parallaxes; ensorte que la parallaxe du soleil *S* vu de la planète *O* étant supposée connue, on en peut déduire la parallaxe de cet astre vu de la planète *P*, et la parallaxe de la planète *P* vue de la planète *O*.

Si l'on ne connaît que les rapports de ces distances, on n'en conclura que les rapports des parallaxes.

§. 479. Nous remarquerons encore que lorsque Vénus passe au devant du soleil, elle paraît sur son disque comme une tache noire et ronde, qui occupe environ la trentième partie de sa largeur; et que la grande précision avec laquelle on peut observer le contact de deux objets dont l'un est obscur et l'autre lumineux, permet de déterminer l'angle de distance à un dixième de seconde près.

§. 480. Cela posé, supposons que le cercle *TVI* (fig. 50) représente la terre, et le cercle *fmng* le soleil. Si une planète inférieure passe au devant de cet astre, et se trouve un instant en *p*, un observateur qui serait en *C*, au centre de la terre, rapporterait cette planète sur le soleil en *l*, par la ligne *Cpl*, et en continuant de l'observer, il la verrait décrire une corde que nous imaginerons être *dle*.

Un second observateur, placé en *V*, à la

surface de la terre, et dont l'horizon serait HO, verrait le soleil au dessus de son horizon, et pourrait observer le passage de la planète; mais tandis qu'elle serait en p, il la rapporterait en a, par la ligne Vpa, et elle lui paraîtrait décrire fag, parallèle à dle.

L'effet de la parallaxe de la planète serait donc, comme cela doit être, d'abaisser celle-ci vers l'horizon HO de l'observateur.

Un troisième observateur placé en I, et dont l'horizon serait RX, verrait aussi le soleil au dessus de son horizon, et pourrait observer le passage de la planète; mais tandis qu'elle serait en p, il la rapporterait en b, par la ligne Ipb, et elle lui paraîtrait décrire mbn, parallèle à dle.

L'effet de la parallaxe serait donc encore, comme cela doit être, d'abaisser la planète vers l'horizon RX de l'observateur.

Cependant comme il faut déterminer dans ces observations non pas seulement la position de la planète sur le soleil, mais la position de ces deux astres dans le ciel, en les rapportant [illegible] et l'autre aux étoiles, il en résulte que le [illegible] ayant lui-même de cette manière une [illegible]xe, est aussi abaissé vers l'horizon de [illegible] observateur; ensorte que si la parallaxe d[illegible]eil était égale à celle de la planète, il

serait abaissé autant qu'elle; l'observateur *V* verrait le point *l* en *a*, et l'observateur *I* le verrait en *b;* l'effet des parallaxes serait donc nul en apparence, et la planète vue des trois points *V*, *C*, *I*, paraîtrait en *l*, et décrirait *dle*. Mais, la parallaxe du soleil étant moindre que celle de la planète, cet astre est moins abaissé qu'elle vers chaque horizon, et la planète semble aux deux observateurs décrire sur le soleil deux cordes différentes.

Or connaissant le cours de la planète et celui de la terre, par des observations répétées de siècles en siècles, connaissant leurs positions respectives pour tel ou tel jour et pour tel ou tel moment, l'inégalité de leurs mouvemens, etc., etc., on peut calculer l'instant du passage d'une planète inférieure sur le soleil, par exemple de Vénus, et la position de la corde qu'elle décrirait si elle était vue du centre de la terre; alors en observant d'un lieu donné la durée du passage, et comparant la longueur de la corde décrite et observée avec celle de la corde calculée, on jugera par la différence de longueur de ces deux cordes de leur distance; et par conséquent de l'excès de la parallaxe de Vénus sur celle du soleil.

Enfin, au moyen de cette différence des deux parallaxes, ainsi déterminée, et de leur

Si au lieu d'observer le passage depuis deux points de la surface de la terre, on l'observe depuis 3, 4, 5, 6, etc. points différens, on pourra comparer les observations deux à deux, et prenant un milieu entre les différentes parallaxes trouvées de cette manière, obtenir ainsi une plus grande précision.

C'est là proprement la méthode de *Halley.* Elle a été perfectionnée encore par *De Lisle*, en ce qu'il a fait voir que la parallaxe altérant ou changeant les momens de l'entrée et de la sortie de Vénus sur le soleil, ces momens seuls, observés dans différens pays, et comparés ensemble, donnaient souvent autant de différence que la durée entière des passages, et faisaient également juger des parallaxes du soleil et de Vénus. Cette remarque multipliait les lieux d'observation, car il y a peu de pays où l'on puisse voir toute la durée d'un passage; dans le plus grand nombre on n'en voit que le commencement ou la fin.

§. 481. Les distances absolues des planètes au soleil et à la terre étant connues, on observe leurs diamètres apparens et on en conclut leurs diamètres réels, puis leurs circonférences, leurs surfaces, leurs volumes, etc.

Ainsi la mesure en degrés du demi-diamètre apparent *PL* (fig. 51) d'une planète vue de

la terre supposée en T, donne la grandeur de l'angle LTP; et l'angle TPL étant droit, si on connaît la distance TP, on a tout ce qu'il faut pour résoudre le triangle TPL, et déterminer la grandeur de PL, demi-diamètre de la planète.

§. 482.

Distances moyennes des planètes au soleil en myriamètres (1).		*Diamètres en myriamètres.*	
Mercure	5917938	Du Soleil	142083
Vénus	11058215	De Mercure	519
La Terre	15287873	De Vénus	1223
Mars	23294021	De la Terre	1274
Piazzi	42286257	De Mars	663
Jupiter	79511909	De Piazzi	129
Saturne	145836700	De Jupiter	13843
Herschel	291720130	De Saturne	12723
De la Lune à la Terre	38411	De son anneau	29688
Le soleil est donc plus de 400 fois plus loin de nous que la lune.		De Herschel	5522
		De la Lune	348

(1) Le myriamètre vaut un peu plus de deux lieues de 25 au degré; et 4 myriamètres valent exactement 9 lieues. Ainsi en prenant deux fois et un quart chacun de ces nombres on aura leurs valeurs en lieues.

Grosseurs relativement à la terre.

Mercure la 15me partie de la terre.
Vénus plus petite d'un neuvième.
Mars la 5me partie de la terre.
Piazzi près de mille fois plus petite, ou environ 20 fois plus petite que la lune.
Jupiter 1300 fois plus grosse.
Saturne 1000 fois plus grosse.
Herschel 80 fois plus grosse.
Le soleil 1'384'462 fois plus gros que la terre.

§. 483. Quant aux étoiles fixes, on n'a pu apprécier encore aucune de leurs parallaxes, pas même la parallaxe annuelle.

Si la parallaxe annuelle d'une étoile était seulement de la 3240me partie d'un degré la distance de cette étoile serait près de cinq billions de fois plus grande que le rayon de la terre. Mais la parallaxe annuelle des étoiles fixes étant moindre que la 3240me partie d'un degré, leur distance surpasse ce que nous venons d'indiquer.

§. 484. On comprendra d'après cela 1°. comment *la plupart* des observations faites à la surface de la terre, et même un peu au dessus de cette surface, c'est-à-dire à la distance où sont situés les yeux des observateurs, ne diffèrent pas de celles qui seraient faites au centre

de la terre. Ainsi, si nous voyons une étoile fixe à l'horizon, ou dans la direction *O R* (fig. 49), nous sommes sûrs que placés au centre *T* de la terre nous la verrions sensiblement dans la direction *T N* parallèle à *O R*, parce que l'angle formé à l'étoile par les lignes menées des points *O* et *T* étant extraordinairement petit, vu la distance immense de l'étoile (§. 467.), l'inclinaison de ces lignes est comme nulle, et nous les jugeons parallèles.

De là vient que l'on représente communément le plan de l'horizon comme passant par le centre de la terre; et c'est ainsi qu'il est placé dans les globes.

§. 485. Il faut pourtant observer à cet égard qu'il s'agit ici, comme à l'ordinaire, de l'horizon rationel, et non de l'horizon sensible (§. 394). Le rayon visuel qui détermine ce dernier, en rasant la surface de la terre lorsqu'on est élevé au dessus de cette surface, est représenté dans la figure 49 par la ligne *O P*, qui plonge au dessous de l'horizon rationel *O R* ou *T N*, et fait avec lui un angle *P O R* ou *P Q N*, dont la grandeur dépend de l'élévation du point *O* au dessus de la surface de la terre, relativement à la longueur du rayon de ce globe.

On voit réellement les astres lorsqu'ils sont au dessus du rayon visuel *O P*, si du moins

rien ne borne la vue; mais malgré cela ce n'est pas à l'horizon sensible qu'on les rapporte dans les observations astronomiques; dans ces observations, on détermine toujours par le fil-à-plomb un plan perpendiculaire à la verticale ZOT, et c'est à ce plan OR ou TN, nommé *horizon rationel* ou *mathématique*, qu'on rapporte les astres.

§. 486. Par ce que nous avons dit des étoiles fixes, qui n'ont point de parallaxe sensible, même de parallaxe annuelle (§. 483), on comprendra 2°. comment il arrive que quoique la terre décrive une orbite autour du soleil, et occupe ainsi successivement différens points dans l'espace, le mouvement diurne des étoiles paraisse sensiblement le même pendant toute l'année; que les mêmes étoiles semblent décrire chaque jour les mêmes cercles, et que les pôles de la terre répondent constamment aux mêmes points du ciel. Car l'orbite terrestre entière n'étant qu'un point comparée à la distance immense des étoiles fixes, la terre malgré son mouvement annuel peut être considérée comme sans cesse au centre de la sphère étoilée (§. 460. 461. 483.).

§. 487. Mais il faut cependant remarquer une chose, c'est que, malgré la distance énorme des étoiles, si l'axe de la terre avait un balancement

sensible dans l'espace d'une année, il ne pourrait pas répondre constamment aux mêmes points du ciel; or, comme nous n'appercevons pas que les pôles changent sensiblement de place dans cet espace de tems, il en résulte que pendant toute l'année l'axe de la terre est sensiblement parallèle à lui-même, et c'est ce qu'on appelle son *parallélisme*.

§. 488. Ce parallélisme de l'axe de la terre, joint à l'inclinaison du plan de l'écliptique sur celui de l'équateur, donne la clef du changement des saisons, dont nous allons dire un mot.

Il faut d'abord observer que par la correspondance réciproque des deux sphères, la céleste et la terrestre, dont la seconde est supposée au centre de la première, tous les points, toutes les lignes et tous les cercles que l'on se représentera d'abord comme étant marqués ou tracés sur une des sphères, pourront aussi être conçus marqués ou tracés sur l'autre.

Cela posé, imaginons une boule placée à peu près au milieu d'une table ronde ou presque ronde, supposée elle-même au centre d'une immense sphère creuse. Cette boule pourra représenter le soleil au milieu de la voûte azurée, la table ronde désignant le plan de l'écliptique. Nous transporterons alors par la pensée autour de cette table une seconde boule, qui sera la terre.

Maintenant si la terre vient à tourner sur elle-même, il en naîtra tout de suite pour ce globe un axe, des pôles et un équateur, et en prolongeant jusqu'au ciel cet axe et le plan de cet équateur, on aura la position de l'axe, de l'équateur et des pôles de la sphère céleste. Mais si la terre faisait un mouvement de côté, ou si la position de son axe changeait, ce qui changerait aussi celle de son équateur, alors l'axe, l'équateur et les pôles du ciel changeraient en même tems.

§. 489. Supposons pour un moment que notre prétendue terre tourne sur elle-même de manière à ce que son axe soit perpendiculaire au plan de la table autour de laquelle se fait son mouvement annuel, il est clair qu'alors le plan de l'équateur se confondra avec le plan de la table, ou ce qui est la même chose avec le plan de l'écliptique. Et si l'on mène du centre du soleil, un rayon au centre de la terre, ce rayon, couché dans le plan de la table ou de l'écliptique, rencontrera l'équateur terrestre, et la terre faisant un tour sur elle-même, tous les points de son équateur viendront successivement répondre à l'extrémité du rayon solaire; ensorte que le soleil paraîtra ce jour là décrire l'équateur dans son mouvement diurne. Mais l'axe de la terre étant

une fois perpendiculaire à l'écliptique le sera toujours (§. 487.); ensorte que le plan de l'équateur sera toujours confondu avec celui de l'écliptique, et que le soleil qui est toujours dans l'écliptique sera toujours dans l'équateur et décrira chaque jour ce cercle pendant toute l'année. Or comme il est de fait que le soleil est tantôt dans l'équateur, tantôt au dessus, tantôt au dessous, sans cependant jamais sortir de l'écliptique, qui n'est autre chose que son orbite ou celle de la terre, il en résulte que le plan de l'équateur n'est point confondu avec le plan de l'écliptique, mais que ces deux plans inclinés l'un à l'autre s'entrecoupent, ou que la terre tourne sur elle-même de telle manière que son axe soit incliné au plan de l'écliptique (§. 434.).

§. 490. Inclinons donc un peu l'axe de notre seconde boule sur le plan de la table, mais laissons toujours son centre dans ce plan. Si l'on a d'abord approché le pôle nord du soleil, il est clair que le rayon mené du centre du soleil au centre de la terre, dans le plan de la table, ira répondre au dessus de l'équateur terrestre, qui en s'inclinant avec l'axe de la terre se sera abaissé de ce côté-là au dessous de la table, pendant que du côté opposé il se sera élevé au dessus de ce plan. La terre

faisant alors un tour sur elle-même, tous les points de sa surface qui seront à la même distance du pôle nord que celui où aboutit le rayon solaire viendront successivement répondre à l'extrémité de ce rayon, et le soleil paraîtra décrire un parallèle à l'équateur, parallèle que l'on a nommé *tropique du Cancer.* Ce sera le jour du *solstice d'été.*

Pour représenter l'apparence qui aura lieu 6 mois après, il faudra transporter la terre de l'autre côté de la table, au point diamètralement opposé à celui où nous l'avions d'abord placée, et conserver l'inclinaison de son axe (§. 487); ensorte que le pôle nord qui s'approchait d'abord du soleil s'en éloignera, et que le rayon solaire allant du centre du soleil au centre de la terre, rencontrera sa surface au dessous de l'équateur et plus près du pôle sud que du pôle nord. La terre faisant alors un tour sur elle-même, tous les points de sa surface qui seront à la même distance du pôle sud que celui ou aboutit actuellement le rayon solaire, viendront successivement répondre à l'extrémité de ce rayon, et le soleil paraîtra décrire un parallèle à l'équateur, aussi éloigné en-dessous que le premier l'était en-dessus. Ce parallèle a été nommé le *tropique du Capricorne*, et ce jour sera celui du *solstice d'hiver.*

La terre transportée à un quadrans de distance des deux premiers points, soit à droite de la table, soit à gauche, et son axe conservant son inclinaison (§. 487), le rayon solaire rencontrera dans ces deux positions l'équateur, et le soleil par le mouvement diurne paraîtra décrire ce cercle. Ces jours seront ceux des *équinoxes* du printems et de l'automne.

Dans les points intermédiaires le soleil paraîtra décrire par le mouvement diurne de la terre des parallèles situés entre l'équateur et l'un ou l'autre des tropiques; et par le mouvement annuel de la terre le long de l'écliptique, il paraîtra décrire dans le ciel ce même cercle (§. 431.) incliné à l'équateur et s'en écartant de part et d'autre jusqu'aux deux tropiques.

§. 491. D'ailleurs les orbites de la lune et des planètes s'écartant peu de l'écliptique, et coupant aussi l'équateur (§. 434), ces différens corps paraîtront, comme le soleil, changer chaque jour les lieux de leur lever et de leur coucher, et décriront par le mouvement diurne des parallèles à l'équateur, soit au nord, soit au midi de ce cercle (§. 434 à la fin.).

§. 492. Nous allons voir maintenant quels sont les phénomènes particuliers qui doivent résulter du mouvement diurne de la terre, selon

les différentes positions de l'observateur à sa surface; et nous suivrons ici ce que *La Caille* a écrit à cet égard dans ses *Leçons d'Astronomie*, où ces apparences se trouvent très-bien développées. Mais comme il a employé quelques termes dont nous n'avons point encore fait usage, nous commencerons par les définir.

1°. *Borée* étant le vent du septentrion et *Auster* celui du midi, le pôle nord s'appelle souvent *pôle boréal*, et le pôle sud *pôle austral.*

2°. Le mot grec *arctos* signifiant un ours ou une ourse, et le pôle boréal étant voisin de la constellation de l'*ourse*, on lui donne aussi fréquemment le nom de *pôle arctique*, et le pôle sud s'appelle alors par opposition *pôle antarctique.*

3°. On nomme *déclinaison* d'un astre sa plus courte distance à l'équateur mesurée en degrés. Pour l'estimer on suppose un grand cercle passant par le centre de l'astre et par les pôles du ciel, et rencontrant par conséquent l'équateur à angles droits, et l'on compte combien il y a de degrés de ce cercle depuis l'équateur à l'astre. On comprend que la déclinaison est boréale ou australe, et que les pôles sont les points du ciel qui ont la plus grande déclinaison possible.

4°. On appelle *complément* d'un arc, ce qui

lui manque pour valoir un quart de circonférence. Ainsi comme la déclinaison d'un astre est sa distance à l'équateur, le complément de sa déclinaison est sa distance au pôle, puisqu'il y a un quart de cercle de l'équateur au pôle. De même le complément de 30 degrés c'est 70 degrés, parce que 30 et 70 font 100.

§. 493. « Supposons 1°. que l'observateur soit placé précisément sur un des pôles de la terre, comme, par exemple, sur le pôle arctique : dans ce cas, la ligne de son zénith est confondue avec l'axe de l'équateur ; son zénith répond au pôle arctique céleste P, et son horizon est confondu avec l'équateur céleste EZz (fig. 52). Donc tous les astres qui sont entre l'équateur et ce pôle, ou dont la déclinaison est boréale, doivent paraître tourner autour de la ligne CP, et par conséquent parallèlement à l'horizon de l'observateur ; les astres qui sont dans l'équateur doivent toujours raser l'horizon, et tous ceux dont la déclinaison est australe sont perpétuellement invisibles à cause de l'opacité de la terre. »

§. 494. « Donc en général, *lorsqu'on est placé sur un des pôles de la terre, on ne voit que la moitié des étoiles ; en vertu du mouvement diurne aucun astre ne se lève ni ne se couche, ne s'élève ni ne s'abaisse par rapport à l'horizon, ne va jamais*

obliquement, mais toujours parallèlement à l'horizon, et sa hauteur est toujours égale à sa déclinaison. „

§. 495. " C'est à cause du parallélisme de tous ces mouvemens à l'égard de l'horizon, qu'on dit que *la sphère est parallèle* par rapport à un homme situé sur un des pôles terrestres. „

§. 496. " Mais parce que le soleil, les planètes et les comètes ont un mouvement de révolution périodique, par lequel ils répondent successivement à différentes étoiles fixes en décrivant chacun une orbite particulière, qui est coupée par le plan de l'équateur en deux parties, l'une australe et l'autre boréale; il est clair que ces astres en se rapprochant ou en s'éloignant continuellement du point de l'intersection de leur orbite avec l'équateur, changent à chaque instant de parallèle; de sorte qu'aucun ne peut paraître sur l'horizon de l'observateur pendant tout le tems qu'il décrit la partie australe de son orbite, et il y doit paraître continuellement pendant tout le tems qu'il emploie à en décrire la partie boréale. Par exemple, le soleil qui décrit l'écliptique en un an, doit être six mois entiers sur l'horizon et six mois au dessous. Car supposons qu'il soit d'abord au point équinoxial du bélier, il doit paraître raser l'horizon par son mouvement diurne, puis à mesure

grands selon qu'ils ont plus ou moins de déclinaison, ou selon qu'ils sont dans des points de leur obite plus ou moins éloignés de leur intersection avec l'équateur. „

§. 501. " Donc, *par rapport à un homme placé sur l'équateur de la terre, les jours sont de douze heures, et les nuits de douze heures en tous les tems de l'année.* „

§. 502. " 3°. Supposons que l'observateur aille de l'équateur vers un des pôles, comme vers le pôle arctique. Alors la ligne de son zénith s'écarte de plus en plus du plan de l'équateur, en s'inclinant vers la partie boréale de l'axe de l'équateur, et par conséquent le plan de l'équateur paraît s'incliner de plus en plus vers la partie australe de la terre. Le pôle boréal paraît s'élever de plus en plus sur son horizon et le pôle austral s'enfoncer dessous à proportion. Si, par exemple, l'observateur s'arrête après s'être écarté de 30 degrés de l'équateur vers le pôle arctique, ensorte que la ligne de son zénith soit C*f*, le grand cercle *h* F *r* perpendiculaire à C*f* est son horizon, le plan de l'équateur E C Z sera éloigné du zénith *f* de 30 degrés, et par conséquent incliné sur l'horizon de 70 degrés, mesurés par l'angle Z C *r*. Le pôle P sera élevé sur l'horizon de 30 degrés, mesurés par l'angle

l'angle hCP, et le pôle Q abaissé de 30 degrés au dessous. „

§. 503. “ D'où il suit, 1°. Qu'*en quelque endroit de la terre que soit situé un observateur, la distance de son zénith à l'équateur est égale à la hauteur du pôle sur son horizon, et la distance du pôle au zénith est égale à la hauteur de l'équateur.* „

§. 504. “ 2°. Qu'à l'égard d'un homme placé entre un pôle et l'équateur tous les plans des parallèles célestes sont également inclinés sur l'horizon, du côté opposé au pôle élevé, et d'une quantité égale au complément de la hauteur de ce pôle. C'est pour cela qu'on dit qu'un homme situé entre le pôle et l'équateur, *a sa sphère oblique.* „

§. 505. “ 3°. Donc *tous les astres* qui décrivent ces parallèles par le mouvement diurne, *doivent s'avancer obliquement en s'élevant sur l'horizon, puis descendre obliquement en s'abaissant vers l'horizon.* „

§. 506. “ 4°. Tous les astres dont les parallèles sont plus voisins du pôle élevé P que ce pôle ne l'est de l'horizon, c'est-à-dire, *tous les astres dont le complément de la déclinaison est plus petit que la hauteur du pôle de même nom, sont perpétuellement sur l'horizon, et ne se peuvent lever ni coucher.* Par exemple, l'astre qui

qu'en avançant vers le Cancer, sa déclinaison boréale augmente il doit paraître s'élever peu-à-peu en décrivant des spires qui sont sensiblement des cercles parallèles à l'horizon. Au bout de trois mois le soleil étant arrivé au tropique du Cancer, il est à sa plus grande hauteur sur l'horizon, laquelle est égale à l'obliquité de l'écliptique; après quoi il emploie trois mois à redescendre en spirale vers l'horizon, où il se trouve dans le point équinoxial de la balance, auquel étant arrivé, il rase l'horizon, puis s'enfonce dessous pour ne plus reparaître de six mois, qui est le tems qu'il emploie à décrire la partie australe de l'écliptique. Ainsi *sous les pôles il n'y a qu'un jour et qu'une nuit dans toute l'année; mais ils sont chacun de six mois.* „

§. 497. « Il en est de même des planètes et des comètes, dont les orbites étant dans des plans de grands cercles de la sphère céleste, sont coupées en deux parties égales par l'équateur, ce qui fait que Saturne est visible pendant 15 ans de suite, Jupiter pendant 6, etc. „

§. 498. “ 2°. Supposons l'observateur sur l'équateur terrestre : la ligne CZ de son zénith est alors couchée sur le plan de l'équateur céleste ; elle est par conséquent perpendiculaire à l'axe de l'équateur PQ, et cet axe se trouve

dans le plan de l'horizon de l'observateur. Ce plan passe donc par les centres A, B, D, C, F, G, H, etc. de tous les parallèles des astres, et par conséquent il les coupe tous perpendiculairement en deux parties égales ; la moitié de chacun de ces parallèles qui est vers Z, est au dessus de l'horizon, et l'autre moitié qui est vers E, est toujours au dessous. „

§. 499. " Donc en général, *lorsqu'on est placé sur l'équateur, tous les astres doivent paraître chaque jour s'élever pendant six heures, redescendre pendant six autres heures, se coucher et rester sous l'horizon pendant douze heures : et leur direction au moment de leur lever ou de leur coucher doit être perpendiculaire à l'horizon ;* c'est à cause de cette direction perpendiculaire à l'horizon, qu'on dit qu'un homme situé sur l'équateur, *a sa sphère droite.* „

§. 500. " Pour ce qui est des planètes et des autres astres qui décrivent des cercles particuliers dans le ciel par leur mouvement propre, ils doivent aussi être à-peu-près six heures à s'élever et autant à redescendre, et il n'y a de différence entre ces astres et les étoiles fixes, qu'en ce que les étoiles fixes décrivent toujours sensiblement le même parallèle, au lieu que ces astres décrivent chaque jour des parallèles un peu différens, et qui sont plus ou moins

§. 510. " 8°. A l'égard des plus grandes hauteurs auxquelles les astres puissent s'élever, ou ce qui est le même, des plus petites distances au zénith auxquelles ils puissent passer, il est clair que dans la supposition que nous avons faite de l'observateur sous le parallèle de 30 degrés, il n'y a que les astres dont la déclinaison boréale est de 30 degrés, qui puissent passer par le zénith *f*, et que ceux dont la déclinaison boréale est de plus de 30 degrés, passent d'autant plus loin du zénith du côté du pôle : que ceux dont la déclinaison boréale est plus petite que de 30 degrés, passent d'autant plus loin du zénith du côté opposé au pôle élevé : que ceux qui sont dans l'équateur passent à 30 degrés du zénith de ce même côté ; qu'enfin ceux qui sont dans la partie australe du ciel, passent à plus de 30 degrés du zénith, et l'excès est égal au nombre de degrés de leur déclinaison australe ; de sorte que ceux qui ont 70 degrés de déclinaison australe, ne font plus que raser l'horison sans pouvoir s'élever au dessus. D'où il suit que *la plus grande hauteur possible d'un astre* (laquelle s'appelle *sa hauteur méridienne*, parce qu'il y arrive au milieu de son arc diurne) *est facile à calculer, dès qu'on sait la hauteur du pôle d'un lieu, et la déclinaison cet astre.* "

§. 511. " 9°. Si on imagine un grand cercle PZQEP qui passe par les pôles P, Q, et par le zénith *f*, il est clair que le plan de ce cercle coupe perpendiculairement les plans de l'équateur et de l'horizon; que l'axe PQ de l'équateur céleste, et en même tems les centres de tous les parallèles, se trouvent dans le plan de ce cercle, lequel par conséquent divise chaque parallèle perpendiculairement en deux parties égales, d'où il suit que l'arc de ce cercle compris entre le zénith et chaque parallèle, mesure la vraie distance entre le zénith et chaque parallèle; c'est-à-dire, entre le zénith et le point de chaque parallèle qui en approche le plus, et où par conséquent l'astre qui décrit ce parallèle est dans sa plus grande hauteur possible sur l'horizon. Donc toutes les hauteurs méridiennes des astres doivent se mesurer par l'arc de ce cercle compris entre l'horizon et l'astre arrivé par son mouvement diurne dans le plan de ce cercle, lequel à cause de cette propriété sera appelé le *Méridien*. „

§. 512. " *Le Méridien est donc un grand cercle de la sphère céleste qui passe par les pôles de l'équateur et par le zénith d'un lieu de la terre, qui divise en deux également les arcs diurnes de tous les parallèles, et dans le plan duquel un astre, en vertu de la rotation uniforme de la*

terre, arrive à l'instant où il est au milieu entre son lever et son coucher, et où il est dans sa plus grande hauteur possible sur l'horizon de ce lieu. „

§. 513. " Et parce que la terre est un globe concentrique à la sphère céleste, le plan d'un méridien céleste forme par son intersection avec la terre le plan d'un méridien terrestre correspondant. „

§. 514. " Cela posé, chaque point de la surface de la terre paraissant fixe, et ayant un zénith particulier, il doit paraître avoir son méridien fixe dans le ciel et sur la terre ; mais parce que tous les points de la circonférence d'un même méridien céleste sont autant de zéniths pour tous les points du méridien terrestre correspondant, il suit que *tous les points de la surface de la terre qui sont dans le plan d'un même grand cercle qui passe par les pôles de* [illegible]*quateur, sont sous le même méridien tant cé-*[illegible]*te que terrestre.* „

§. 515. " 10°. De ce que le méridien coupe [illegible]ux également chaque parallèle, et qu'il [illegible]ar leur point le plus élevé sur l'horizon, qu'il doit passer aussi par leur point le [illegible]issé vers l'horizon, ou même au dessous [illegible]izon, et que par conséquent les étoiles [illegible]t de perpétuelle apparition à cause de

leur voisinage au pôle élevé, étant dans leur plus grande hauteur comme en K, quand elles passent dans le plan du méridien entre le zénith *f* et le pôle élevé P, elles sont aussi dans leur plus petite hauteur, quand 12 heures après elles sont retournées dans le même plan en I, entre le pôle et l'horizon.

§. 516. « A l'égard des planètes, leurs phénomènes doivent se conformer à ceux des différens parallèles où elles se trouvent dans les points de leur orbite particulière. Ainsi dans un lieu quelconque de la sphère oblique, le soleil étant dans une de ses intersections de l'équateur et de l'écliptique, sera précisément douze heures sur l'horizon, et douze heures dessous, par conséquent le jour doit être égal à la nuit, et c'est ce qui a fait donner à ces intersections le nom de *points Equinoxiaux*. Le soleil étant en tout autre point de l'écliptique, le jour sera plus ou moins long, selon que l'arc diurne du parallèle où le soleil sera, se trouvera une plus grande ou plus petite portion de ce parallèle. „

§. 517. « Par exemple, si l'observateur est du côté du pôle arctique, et le soleil dans le tropique du Capricorne, où il est dans sa plus grande déclinaison australe, son arc diurne est le plus petit qu'il est possible, et le jour par

conséquent le plus au dessous de 12 heures qu'il est possible. Cet arc diurne augmente à mesure que le soleil se rapproche de l'équateur, où étant arrivé trois mois après, le jour est alors de douze heures précises. Ensuite le jour continue de croître pendant trois mois; jusqu'à ce que le soleil arrivé au tropique du Cancer, et ayant la plus grande déclinaison possible de même nom que le pôle élevé, a par conséquent le plus grand arc diurne possible; donc le jour est d'un nombre d'heures, d'autant plus au dessus de 12, qu'il en était au dessous dans le tropique du Capricorne. Après cela le soleil se rapprochant de l'équateur, le jour décroît par les mêmes degrés jusqu'à n'être plus que de 12 heures dans l'équinoxe suivant; et enfin, il redevient aussi court qu'il avait été d'abord, lorsqu'il se retrouve dans le tropique du Capricorne. „

§. 518. " C'est de cette différence des jours jointe à l'inégalité des hauteurs où le soleil monte sur l'horizon, selon les divers parallèles qu'il décrit, que vient la différence des *saisons*. Car le soleil étant dans le tropique opposé au pôle, il s'élève très-peu sur l'horizon, et il y demeure peu de tems; donc la chaleur de ses rayons doit se faire peu sentir, tant à cause qu'ils frappent très-obliquement, que parce qu'ils n'ont

pas le tems d'échauffer l'air ; et c'est ce qui fait l'hiver. Au contraire le soleil étant dans le tropique du côté du pôle, s'élève le plus haut qu'il est possible ; il darde alors ses rayons presque perpendiculairement, et restant très-longtems sur l'horizon, il échauffe l'air ; et c'est ce qui fait l'été. Vers les points équinoxiaux ces effets sont dans un état moyen, d'où viennent les deux saisons du printems et de l'automne (1). »

§. 519. Parvenus là, nous pourrions peut-être résoudre le problème que nous nous étions proposé au §. 372.

Un corps lancé parallèlement à l'horizon décrit, avons-nous dit, une parabole, qui s'ouvre d'autant plus que la force de projection est plus grande. Or, il faut observer que nous avons obtenu ce résultat, parce que nous avons supposé les directions *Al*, *oq*, *rt*, *vz*, *etc.*, de la pesanteur (fig. 35 et §. 366) parallèles entr'elles, et nous les avons supposées ainsi parce que nous savions que ces directions de-

---

(1) Il est à remarquer que c'est en hiver que la terre est dans son périhélie, et que c'est en été qu'elle est dans son aphélie ; ensorte que dans la première de ces saisons nous sommes 500000 myriamètres plus près du soleil que dans la seconde.

vaient être perpendiculaires à la surface de la terre et que nous considérions cette surface comme plane. Mais actuellement que nous avons appris que la terre est ronde ou à peu près, nous devons en conclure que les directions de la pesanteur, perpendiculaires à la surface de la terre, sont inclinées entr'elles, quoiqu'elles le soient peu dans un espace comme celui que parcourt ordinairement un mobile lancé en l'air.

D'après cela la géométrie démontre que la courbe décrite, au lieu d'être une parabole, est une ellipse, ou une portion d'ellipse. C'est-à-dire que les corps lancés en l'air décrivent près de la surface de la terre une courbe du même genre que celle que la lune décrit autour de notre planète, et du même genre que celle que les planètes décrivent autour du soleil.

§. 520. Si donc le boulet que nous lançons par exemple depuis le sommet d'une montagne était lancé de plus haut, ou si la force de la poudre était plus grande, ne se pourrait-il point qu'au lieu de retomber sur la terre, en décrivant une portion d'ellipse, il circulât autour d'elle en décrivant une ellipse entière et devînt satellite de la terre?

Autrement ne pourrait-on supposer que la lune elle-même eût été lancée dans l'espace,

à la distance de la terre à laquelle elle se trouve, et que retenue vers la terre par la pesanteur, son mouvement résultât de la combinaison de ces deux forces ?

Ne pourrait-on pas ensuite étendre cela à toutes les planètes et prouver qu'elles circulent autour du soleil en vertu d'une tendance constante vers cet astre, et d'une projection qui ait une fois agi sur elles ?

§. 521. Nous avons dit (§. 247.) qu'un corps en mouvement tendait à décrire une ligne droite. D'où nous avons conclu (§. 248.) que s'il décrivait une courbe, il était sans cesse détourné de sa route par une cause capable de produire cet effet. Or cette cause ne peut être qu'une force qui à chaque moment fasse un angle avec la direction du mobile.

D'un autre côté on démontre que si une courbe est décrite par un mobile en vertu de deux forces dont une est dirigée vers un point fixe, et se désigne par le nom de *centripète*, *les aires tracées par le rayon vecteur* (§. 470.) *autour de l'origine de la force sont proportionnelles aux tems*. Et réciproquement l'on démontre que *si les aires tracées par le rayon vecteur autour d'un point fixe croissent comme les tems, la force qui sollicite le corps est constamment dirigée vers ce point.*

nètes est en raison inverse du carré de leur distance.

Si donc cette force, qui est sans doute la même que celle qui retient la lune dans son orbite, n'est autre chose que la pesanteur, il faut que la pesanteur soit aussi soumise à la loi que nous venons d'indiquer. Comme nous savons, par exemple, que tous les corps tombent également vîte près de la surface de la terre (§. 343.), et qu'ils parcourent 49 décimètres dans la première seconde de leur chute (§. 349.), il faudrait qu'à une distance double du centre de la terre, ils parcourussent dans le même tems un espace quatre fois moindre, à une distance triple une distance neuf fois moindre, etc. etc.

Or connaissant la distance de la lune, on peut calculer avec quelle vîtesse les corps terrestres placés à cette distance s'approcheraient de nous en vertu de la pesanteur, ou quel espace ils parcourraient dans la première seconde de leur chute; et cet espace serait aussi celui que la lune devrait parcourir dans le même tems si elle tombait vers la terre en obéissant à sa force centripète et que cette force ne fût autre chose que la pesanteur.

Mais nous savons quel chemin la lune fait dans son orbite chaque seconde de tems;

supposons que ce chemin soit l'arc Lm (fig. 53) ; sans la force centripète la lune aurait parcouru dans le même tems la ligne droite Ln; elle s'est donc écartée de cette ligne de la quantité nm égale à Lp, et cela par l'effet de la force centripète.

Or on trouve par le calcul que cet espace est le même que celui qui devrait être décrit dans le même tems par les corps terrestres placés à cette distance et soumis à l'action de la pesanteur, dans la supposition qu'elle diminue comme le carré de la distance augmente.

On ne peut donc pas douter que ce ne soit une seule et même force et qui produise les phénomènes de la pesanteur, et qui retienne soit les planètes et les comètes autour du soleil, soit les satellites autour des planètes principales.

§. 524. Mais si les planètes ont une tendance vers le soleil, il n'est pas douteux que cela ne soit réciproque, et que le soleil n'ait aussi une tendance vers chacune des planètes; il n'est pas douteux même que cette propriété n'appartienne à toutes les parties de la matière, et que par conséquent la tendance d'un corps vers un autre ne soit d'autant plus grande ou plus petite que la masse de ce dernier est plus ou moins considérable.

Cette force, quelle qu'en soit la cause, qui semble animer ainsi chaque partie de matière a reçu le nom de *gravité*, ou de *gravitation universelle;* et elle est, comme nous venons de le voir, en raison directe de la masse du corps que l'on considère comme corps attirant, et en raison inverse du carré de la distance du corps que l'on considère comme corps attiré.

Nous allons essayer de faire comprendre jusques à un certain point comment il peut résulter un mouvement circulaire ou elliptique de la combinaison de la gravité avec une force de projection.

§. 525. Supposons d'abord qu'un mobile sans pesanteur soit lancé dans la direction *lmn* (fig. 54), de manière à parcourir en tems égaux les espaces égaux *lm*, *mn*, *etc.* D'un point *C*, également éloigné de *l* et de *m*, et avec le rayon *Cm*, décrivons le cercle *mosv etc.*, prenons la corde *mo* égale à *mn*, puis menons *op* parallèle à *mn* et joignons *on*. Imaginons ensuite que le mobile à son passage en *m* reçoive, dans la direction du rayon *m C*, une impulsion capable de le porter de *m* en *p* dans le même tems que la première force le porterait de *m* en *n;* il est clair qu'obéissant aux deux forces à la fois il décrira dans notre unité de tems la corde *mo*, diagonale du

parallèlogramme *mnop*. Parvenu en *o* il tendra à décrire dans le second tems la ligne *or* égale à *mo* égale à *mn* égale à *lm;* et s'il reçoit une nouvelle impulsion *ot* égale à *mp*, et dans la direction *oC*, il décrira dans le second tems la corde *os* égale à *or* égale à *mo*, égale etc. En continuant de même on ferait décrire au mobile le contour d'un polygone régulier inscrit dans le cercle.

§. 526. Maintenant l'on voit bien qu'en conservant le même cercle et la même vîtesse, qui d'ailleurs est uniforme, plus les instans seront courts plus les cordes parcourues seront courtes, et plus elles se rapprocheront des arcs qu'elles soutendent; ensorte qu'en faisant diminuer sans cesse les instans, les cordes diminueront aussi sans cesse et iront toujours en se rapprochant des arcs. Donc en supposant les instans nuls, ou ce qui est la même chose en substituant aux impulsions *mp*, *ot*, *etc.*, une force centripète constante, les cordes ne seront plus distinguées des arcs, et le polygone sera autre chose que la circonférence même cercle. Mais il y a plusieurs choses à observer à cet égard.

§. 527. 1°. Le point *o* étant un point de concours de deux cordes *om*, *os*, plus ces cordes deviendront petites et se rapprocheront des arcs,

arcs, plus elles tourneront sur le point *o* et s'écarteront l'une de l'autre; ensorte que l'angle *mos* s'ouvrira toujours davantage. Dans ce mouvement les points *m* et *s* sortiront du cercle, et la ligne *or* prolongement de *mo* s'approchera de son côté de la ligne *os*, ensorte que l'angle *sor* se fermera toujours plus. Enfin quand le polygone sera devenu cercle, l'angle *sor* aura disparu, et les deux angles *moC*, *Cos*, toujours égaux entr'eux, vaudront chacun un angle droit; ensorte que la ligne *mor* ou *mos* sera perpendiculaire au rayon *Co*, ou sera tangente du cercle.

Il résulte de là que lorsqu'un mobile décrit un cercle, il est animé par une force centripète et une force projectile qui se croisent à angles droits.

§. 528. Nous observerons 2°. que puisque *mo* égale *mn*, la force *mp* n'ajoute ni ne retranche à la force *mn*, et ne fait que changer sa direction.

Ainsi on peut considérer la force centripète dans le cercle comme ne produisant d'autre effet que celui d'infléchir constamment la direction du mobile, et de le tenir à une même distance du centre.

§. 529. Nous observerons 3°. qu'en prolongeant *Cm* au dehors du cercle, et menant *nq*

parallèle à om, la figure $onqm$ sera un parallélogramme et donnera mq égale à no, égale à mp; ce qui fera voir que la force de projection peut être décomposée en deux autres mo et mq, dont la première lui est égale et n'est autre chose que la corde ou plutôt le petit arc qui doit être décrit, et la seconde est égale à la force centripète et lui est directement opposée; ces deux dernières se détruisant mutuellement, le mobile obéit à la seule qui reste et décrit mo.

En envisageant la chose de cette manière, la force mq directement opposée à la force centripète, et tendant à éloigner le mobile du centre dans la direction du rayon, a été nommée *force centrifuge.* Ainsi *la force centrifuge dans le cercle est cette force qui provenant de la force de projection est directement opposée à la force centripète et lui est égale.*

Les deux forces ensemble prennent le nom commun de *forces centrales.*

330. Nous observerons 4°. que, la force tripète restant la même, si la force de projection augmente ou diminue, la force centri- augmente ou diminue aussi; car en dé- sant la force de projection, il faut tou- prendre un des côtés du parallélogramme la direction mo, parce que c'est la seule

qui, étant perpendiculaire au rayon quand le polygone devient cercle, ne puisse altérer les forces centrales. Alors la force centrifuge augmentant ou diminuant, le mobile s'éloigne ou s'approche du centre plus qu'il ne le faudrait pour le cercle et commence à décrire une autre courbe (1).

§. 531. On verra de même que la force de projection ne changeant point, si la force centripète augmente ou diminue, le mobile ou se rapproche du centre ou s'en éloigne plus qu'il ne le faudrait pour le cercle, et commence encore à décrire une autre courbe.

§. 532. Ainsi donc, pour qu'un mobile décrive un cercle, il faut qu'il soit lancé perpendiculairement au rayon et avec une vîtesse telle qu'il en résulte une force centrifuge égale à la force centripète, si celle-ci est donnée.

Autrement il faut qu'il soit sollicité par des forces centripètes et centrifuges égales, et que la direction de son mouvement fasse un angle droit avec le rayon vecteur.

§. 533. Quant à la force centrifuge dans

---

(1) Des auteurs du plus grand mérite, en envisageant la force centrifuge comme une réaction, ont dit qu'elle était dans tous les cas égale et opposée à la force centripète.

d'autres courbes que le cercle, on l'a envisagée sous différens points de vue.

Si l'on considère, par exemple, un mobile qui décrit, dans un moment donné, un arc infiniment petit d'une ellipse, on peut rapporter sa force centrifuge au centre du *cercle osculateur*, c'est-à-dire d'un cercle que l'on imagine avoir la même courbure que l'ellipse au point dont il s'agit, et pouvoir par conséquent se confondre avec elle dans l'étendue du petit arc en question.

On peut aussi rapporter la force centrifuge au centre des forces, dans la direction du rayon vecteur; en faisant attention à la vîtesse du mobile et en calculant l'effort qu'il ferait pour s'éloigner de ce centre si sa direction était perpendiculaire au rayon vecteur.

Nous allons passer au mouvement dans l'ellipse.

§. 534. Supposons que pendant que la planète *L* décrit, autour du soleil *S*, le cercle *LD* de la figure 55, une main invisible la transporte de *L* en *P*, à une distance de *S* moindre que *LS* dans un certain rapport, sa force centripète deviendra plus grande (§. 524), et la force de projection étant supposée la même, la planète *P*, quoique l'angle *SPD* soit droit, devra commencer à se rapprocher

du soleil en obéissant à la force centripète plus grande qu'il ne le faudrait pour que le mobile décrivît un cercle (§. 531.).

Il arrivera donc plusieurs choses en même tems; car 1°. la planète se rapprochant du soleil, la force centripète augmentera encore. 2°. des deux forces qui étaient d'abord données, l'une ayant augmenté, leur résultante sera augmentée aussi, c'est-à-dire que la vîtesse de la planète sera augmentée, et par conséquent sa force centrifuge (§. 530). Les deux forces iront donc toutes deux en augmentant. 3°. La planète ayant commencé à se rapprocher du soleil, ou ce qui est la même chose, la courbe qu'elle décrit s'étant rapprochée de la direction de la force centripète, l'angle des deux forces a commencé à se fermer ou à devenir aigu. Or il est facile de voir que deux forces étant données, plus leur angle se fermera, plus leur résultante augmentera. Ceci sera donc une nouvelle raison d'augmentation pour la vîtesse et pour la force centrifuge. On pourrait démontrer d'après cela que la force centrifuge augmentera beaucoup plus rapidement que la centripète, qui la surpassait d'abord, et qu'au bout d'un certain tems elle l'atteindra.

Les deux forces étant égales, si à ce moment

là la direction du mouvement de la planète était perpendiculaire au rayon vecteur, elle recommencerait à décrire un cercle (§. 532.). Mais l'angle *SNG* étant alors au contraire très-aigu relativement aux autres, la planète continuera de s'approcher du soleil. Il est vrai qu'en même tems la force centrifuge commencera à prévaloir sur la force centripète; mais ce ne sera pas d'une quantité suffisante pour l'emporter sur l'effet de l'angle aigu, qui est tel jusqu'en *A*.

Au point *A* l'angle *SAB* sera de nouveau droit; ensorte que si les forces étaient égales, on aurait encore le cercle (§. 532); mais la force centrifuge surpassant alors de beaucoup la centripète, la planète commencera à s'éloigner du soleil. En même tems les deux forces diminueront; mais l'angle devenant obtus, et la résultante des deux forces diminuant par cette raison, comme il est facile de le voir, ce sera une nouvelle cause de diminution pour la force centrifuge; elle diminuera donc plus brusquement que la force centripète qu'elle surpassait, et au point *M* les deux forces se retrouveront égales; mais alors l'angle étant très-obtus relativement aux autres, la planète continuera à s'éloigner du soleil, et la force centrifuge continuera à diminuer plus vîte que

la centripète, ensorte qu'en *P*, ou l'angle sera de nouveau droit, la force centrifuge sera la plus petite possible, et la planète recommencera à décrire l'ellipse *PNAMP*.

§. 535. Nous avons vu que plus la vîtesse est grande plus la force centrifuge est grande; ensorte qu'il faut dans ce cas une force centripète plus grande aussi pour lui faire équilibre.

Or comme on connaît les distances des satellites à leurs planètes principales, et les tems de leurs révolutions, on connaît leurs vîtesses (§. 218. 219. 220.); et l'on en peut déduire les rapports de leurs forces centripètes, ou, ce qui est la même chose, les rapports des masses de leurs planètes principales (§. 524.).

Comparant ensuite les masses de ces corps avec leurs volumes, on trouve leurs densités (§. 83.).

D'ailleurs ce que nous disons des planètes principales entr'elles, on peut le dire du soleil relativement à ces mêmes planètes.

§. 536. D'après ces principes on peut aussi calculer avec quelle vîtesse les corps tombent près de la surface du soleil ou des planètes.

§. 537. Enfin, il est facile de comprendre que de l'action mutuelle de toutes les planètes les unes sur les autres, il doit résulter des perturbations et des irrégularités dans leurs cours;

ces perturbations s'observent en effet, et s'accordent avec les lois de la gravitation.

§. 538. Ces lois rendent aussi raison du flux et du reflux de la mer, et de beaucoup de phénomènes dans le détail desquels nous ne saurions entrer dans un cours aussi élémentaire que celui-ci.

Faisons seulement encore une ou deux observations relatives à cet objet.

§. 539. Il est clair d'abord que la rotation de la terre donne à ses différentes parties différens degrés de vîtesse et de force centrifuge, puisqu'elles décrivent dans un même espace de tems des cercles d'autant plus grands qu'elles sont plus éloignées de l'axe du mouvement. Il résulte de là, comme on peut le démontrer, que ces différentes parties ne sauraient être en équilibre entr'elles, dans l'hypothèse de la sphéricité parfaite de la terre; et que ce globe doit être moins alongé dans le sens des pôles que dans le sens de l'équateur.

...périence a confirmé cette indication de ...e, et l'on sait à présent que l'axe de ...est d'une trois cents trente-quatrième ...us court que le diamètre de l'équateur. ...espèce d'aplatissement s'observe aussi ...planètes, et il est d'autant plus grand ...r rotation est plus prompte.

§. 540. Il résultait encore de là que le poids des corps devait aller en diminuant des pôles à l'équateur, soit parce que leur force centrifuge allait en augmentant (§. 539.), soit parce qu'ils s'éloignaient ainsi toujours plus du centre de la terre, que nous venons de démontrer être plus élevée à l'équateur qu'aux pôles.

Cette conjecture a aussi été vérifiée au moyen du pendule, que l'on a reconnu battre des tems d'autant plus longs qu'on s'approchait davantage de l'équateur; ce qui prouve que l'énergie de la pesanteur allait en diminuant.

§. 541. Pour bien comprendre ce que nous venons de dire, il faut savoir que la pesanteur à la surface d'une planète, ou au dehors à une distance quelconque, est presque la même, comme on le prouve par le calcul, que si la masse entière de la planète était réunie à son centre de gravité. *Propriété remarquable*, dit La Place, *en vertu de laquelle le soleil, les planètes, les comètes et les satellites, agissent à très-peu-près les uns sur les autres comme autant de points matériels.*

§. 542. C'est aussi en vertu de ce principe que la pesanteur se fait sentir à la surface de la terre en suivant la direction de la verticale, ou d'une ligne sensiblement dirigée à son centre, et perpendiculaire à sa surface. Et l'on

compte tellement sur cette direction de la gravité que c'est toujours au moyen du fil-à-plomb que l'on détermine la verticale.

§. 543. Cependant si le fil-à-plomb se trouve placé auprès de quelque grosse montagne, sa tendance vers cette masse le dérange évidemment de sa position ordinaire, et c'est-là une preuve de la gravitation universelle.

Mrs. *Bouguer* et *De la Condamine* firent en 1738 quelques expériences relatives à cet objet auprès d'une très-grosse montagne du Pérou, nommée *Chimboraco*. Ils se placèrent d'abord près de la montagne *M* (fig. 56), et observèrent à quelle distance de leur zénith *F*, indiqué par la direction du fil-à-plomb *FAP*, se trouvaient les étoiles *N*, *N'* *etc.*, situées du côté du nord, et les étoiles *S*, *S'*, *etc.*, situées du côté du sud, et cela au moment où elles passaient au méridien; ils répétèrent ensuite cette observation dans une autre station éloignée de 3416 mètres de la première, et par conséquent à peu près hors de la sphère d'activité de la montagne; mais ils restèrent sous le même parallèle, c'est-à-dire à la même distance de l'équateur; car de cette manière les mêmes étoiles, passant au méridien de cette seconde station, devaient encore se trouver à la même distance de leur zénith, si du moins

l'attraction de la montagne n'avait point dérangé le fil-à-plomb. Or ils trouvèrent que dans la première station les étoiles *N*, *N'*, avaient paru plus éloignées du zénith et les étoiles *S*, *S'*, plus rapprochées que dans la seconde station; et ils virent que le fil-à-plomb *FAP*, par sa tendance vers la montagne *M*, avait été détourné d'environ 23 secondes de la verticale *VAT*.

Depuis lors *Maskeline* a mesuré avec beaucoup de soin un effet analogue produit par l'attraction d'une montagne d'Écosse.

N. B. On trouve dans le N°. 156 de la *Bibliothèque britannique*, c'est-à-dire dans le N°. 2 du 20e volume de la série *Sciences et arts*, des détails sur la planète d'Olbers, et entr'autres ses élémens calculés par le Cit. Burkardt. L'inclinaison de cette planète serait d'après ces renseignemens d'environ 40 degrés, et forcerait d'assigner près de 80 degrés de largeur au zodiaque. Son excentricité serait aussi très-considérable et donnerait à son orbite l'apparence d'une parabole. Enfin sa révolution d'environ 4 ans 8 mois se rapprocherait extrêmement de celle de Piazzi, qui est, comme nous l'avons vu, de 4 ans 7 mois. Ce corps singulier forcera peut-être bientôt les Astronomes d'abandonner la distinction qu'ils avaient établie entre les planètes et les comètes.

DU MOUVEMENT DES LIQUIDES ET DES FLUIDES AÉRIFORMES.

§. 544. CETTE partie me semble trop mathématique pour trouver place dans un cours aussi élémentaire que celui-ci.

Du reste, je ne comprends sous le titre de ce chapitre que les principes particuliers du mouvement des fluides; réservant pour le chapitre suivant tout ce qui a rapport aux machines proprement dites.

Quant à la résistance des milieux, nous en avons dit quelque chose aux §. 237 à 247.

DES MACHINES

Destinées à suppléer à la faiblesse de nos bras dans la production du mouvement soit des solides soit des fluides.

§. 545. JE renvoie pour cette partie, qui est celle de la *Méchanique* proprement dite, aux différens traités de Physique qui sont entre les mains de tout le monde.

J'observerai simplement que le titre de ce chapitre comprend la partie de l'*Hydraulique* qui traite des machines destinées à mettre en mouvement les liquides et les fluides élastiques; du moins lorsque ces machines appartiennent réellement à la Méchanique et sont composées de pistons, de leviers, de roues, etc. Je suppose que les principes du mouvement des fluides sont exposés dans le chapitre précédent; et j'ai parlé des siphons, des fontaines de compression, des fontaines d'Héron, etc., lorsque j'ai traité du repos des fluides aériformes (§. 147). Seulement on pourrait replacer ici le fusil à vent, dont j'avais fait mention alors.

TABLE

Des rapports des nouvelles mesures aux anciennes mesures de Paris, et des anciennes aux nouvelles.

Le MÈTRE vaut en *pieds*	pi. 3.078444.	Exactement.
Le MÈTRE CARRÉ (centiare) vaut en *pieds carrés*	pi. q. 9.476817461136.	Exactement.
Le MÈTRE CUBE (stère kilolitre) vaut en *pieds cubes*	pi. c. 29.17385185232935 2384.	Exactement.
Le LITRE vaut en *pintes* (de 46.95 po. c.) . .	pte. 1.0737468779677.	
Le KILOGRAMME vaut en *livres* (poids de marc)	liv. 2.0428765190972 22. . .	Périodiquement.
Le HECTOGRAMME vaut en *onces*	on. 3.268602430555.	Périodiquement.
Le DÉCAGRAMME vaut en *gros*	GR. 2.6148819444.	Périodiquement.
La GRAMME vaut en *grains* (de 72 au gros)	gr. 18.82715.	Exactement.

Le MYRIAMÈTRE vaut en *lieues* de 25 au degré nonagésimal.	2.25.	Exactement.
Le MYRIAMÈTRE vaut en *lieues* de 20 au degré nonagésimal	1.8.	Exactement.
Le MYRIAMÈTRE vaut en *lieues* de 20 au degré centésimal	2.	Exactement.

Le PIED vaut en *décimètres*	d.mt. 3.24839431868827238696.	
Le PIED CARRÉ vaut en *décimètres carrés* . .	d.mt.q. 10.5520656496862.	
Le PIED CUBE vaut en *décimètres cubes* (litres)	d.mt.c. 34.27727010686647.	
La PINTE (de 46.95 po. c.) vaut en *décilitres* .	d. lit. 9.3131818953552.	

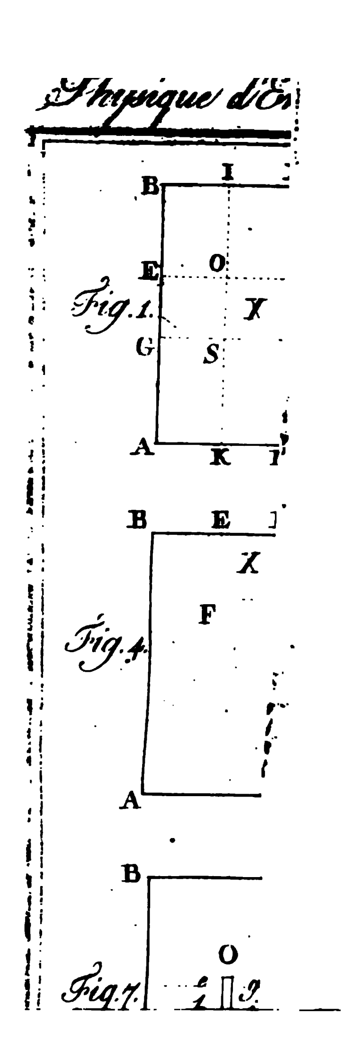
La LIVRE (16 onces) en *hectogrammes* . . .	h.gm. 4.8950584660981614З.	
L'ONCE vaut en *décagrammes*	déc.gm. 3.05941154131113509.	
Le GROS vaut en *grammes*	gm. 3.82426442663918862.	
Le GRAIN vaut en *centigrammes*	c.gm. 5.31147837033220641 5.	

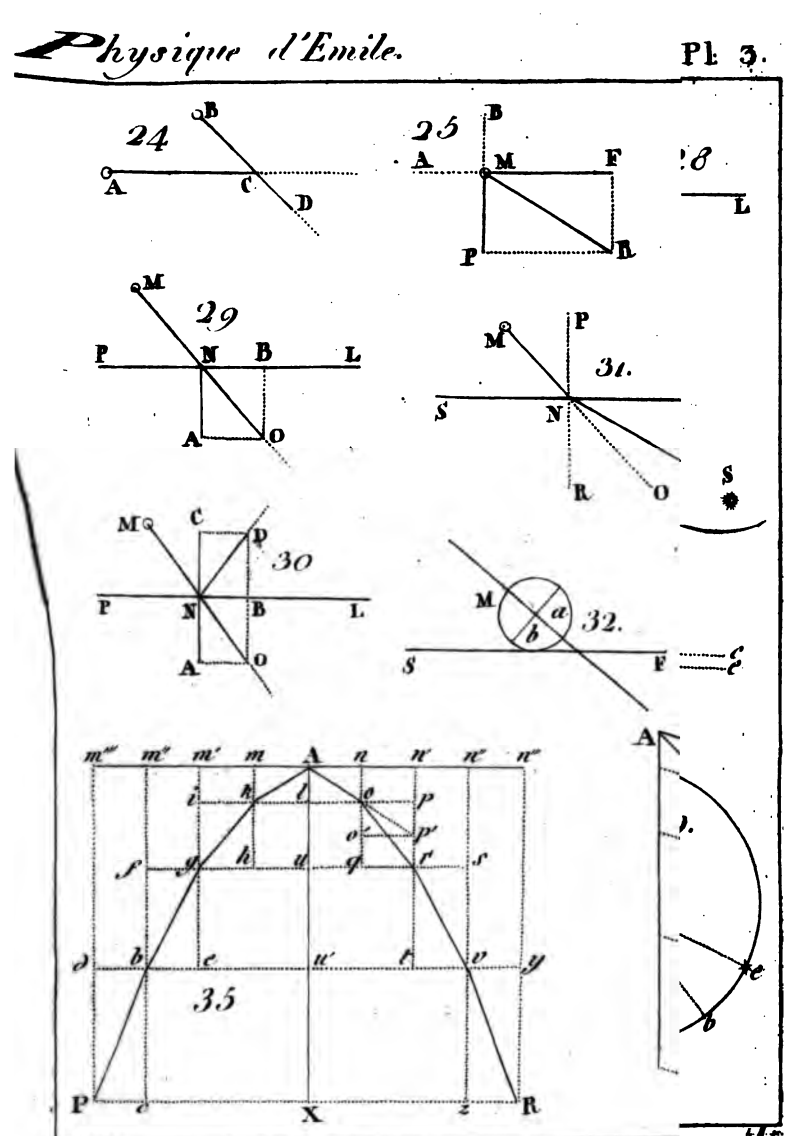
La LIEUE de 25 au degré nonagésimal est de $\overset{t.}{2280}$, $\overset{pi.}{1.97}$, ou de $\overset{pi.}{13681.97}$, et vaut en *kilomètres*	k.mt. 4.444444.	Périodiquement.
La LIEUE de 20 au degré nonagés. est de $\overset{t.}{2850}$, $\overset{pi.}{2.47}$, ou de $\overset{pi.}{17102.47}$, et vaut en *kilomètres* . .	k.mt. 5.555555.	Périodiquement.
La LIEUE de 20 au degré centésimal est de $\overset{t.}{2565}$, $\overset{pi.}{2.22}$, ou de $\overset{pi.}{15392.22}$, et vaut en *kilomètres*	5. kilomètres, exactement.	

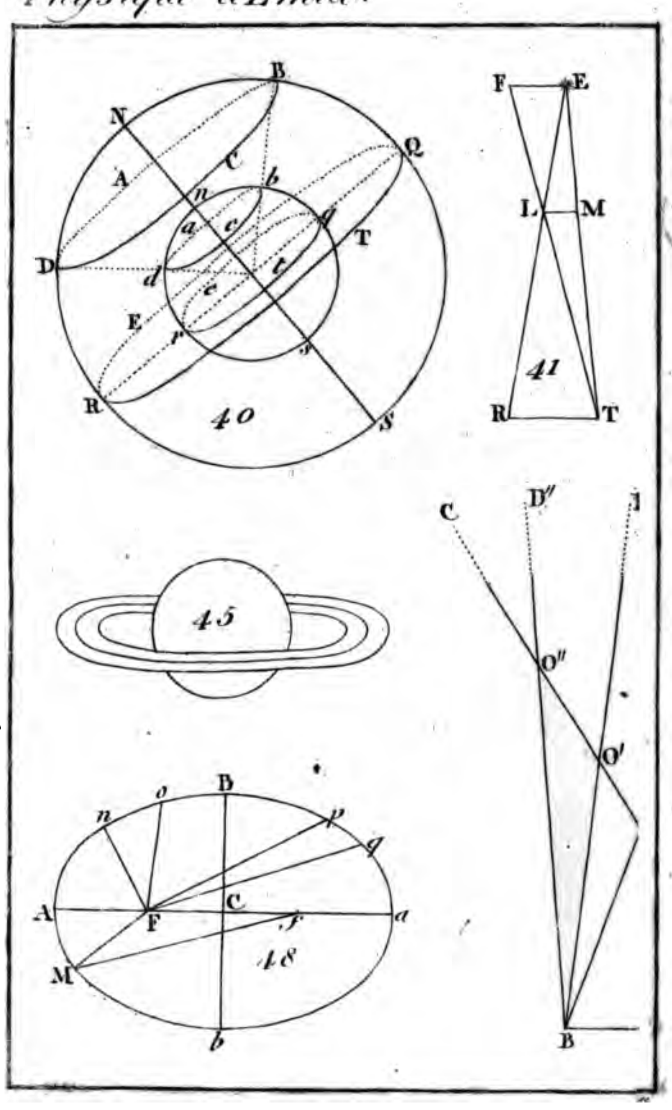
Fin du premier Volume.

ARITMÉTIQUE D'ÉMILE, contenant l'augmentation, la diminution et la comparaison des Nombres; avec une exposition du nouveau système des Poids et Mesures. Ouvrage que le Conseil d'Instruction publique, établi près le Ministre de l'Intérieur à Paris, a mis l'an 7 dans la liste des Livres Élémentaires. Seconde édition, considérablement augmentée, entr'autres de la partie des Logarithmes et des Principes des Changes et des Arbitrages; avec des Tables des rapports réciproques des Mesures de France, d'Angleterre, de Zurich et de Berne. 1 vol. in-8°. Paris 1802.

INTRODUCTION À L'ALGÈBRE, contenant entr'autres une Arithmétique des quantités Directes ou positives et des quantités Inverses ou négatives. 1 vol. in-8°. 1799.


Physique d'E
B
I
E
O
Fig. 1.
X
G
S
A
K
B
E
X
F
Fig. 4.
A
B
O
Fig. 7.


24
A
B
C
D
25
A
B
M
F
P
R
28
L
29
M
P
N
B
L
A
O
31.
M
P
S
N
R
O
S
30
M
C
D
P
N
B
L
A
O
32.
M
a
b
S
F
A
e
b
m'''
m''
m'
m
A
n
n'
n''
n'''
i
k
l
o
p
o'
p'
f
g
h
u
q
r'
s
d
b
e
u'
t
v
y
35
P
c
X
z
R



B
N
Q
C
A
n
b
a
c
q
T
D
d
t
e
E
r
s
R
40
S
F
E
L
M
41
R
T
C
D″
I
O″
O′
B
45
B
o
n
p
q
A
F
C
f
a
M
48
b



Physique d'Emile.

